

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра виробництва приладів
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 519.248:621.91

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри
В.В. Шевченко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151– Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

на тему: Система імітаційного моделювання технологічних процесів в приладобудуванні

Виконав : студент II курсу, групи ПБ-71мп
(шифр групи)

Філоненко Костянтин Геннадійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Вислоух С.П.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант стартап-проекту к.е.н., доцент Бояринова К.О.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Приладобудівний
(повна назва)

Кафедра Виробництва приладів
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.О. завідувача кафедри

Шевченко В.В.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Філоненку Костянтину Геннадійовичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Система імітаційного моделювання технологічних процесів в приладобудуванні» _____ ,

науковий керівник дисертації Вислоух Сергій Петрович, к.т.н., доцент ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 05 листопада 2018 р. № 4078-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2018 р. _____

3. Об'єкт дослідження технологічні системи в приладобудуванні _____

4. Предмет дослідження імітаційне моделювання на основі мереж Петрі _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Виконати аналіз стану моделювання роботи виробничих систем та постановка задач дисертаційних досліджень. Розглянути основи побудови та моделювання роботи виробничих систем, вибрати ефективних метод моделювання технологічних систем в приладобудуванні. Розглянути питання використання системи мереж Петрі для опису роботи. Розробити методику практичного застосування системи імітаційного моделювання на прикладах моделювання технологічного процесу виготовлення деталі та складання приладу. Розробити стартап-проект реалізації методики імітаційного моделювання виробничих систем.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу Стан питання моделювання та оптимізації роботи виробничих систем. Мета роботи, об'єкт та предмет дослідження. Наукова новизна та практична корисність. Методи моделювання виробничих систем. Особливості побудови та використання виробничих систем в приладобудуванні. Математичні моделі роботи виробничих систем. Математична модель технологічних процесів виготовлення деталі та складання приладу. Методика практичного застосування

системи для моделювання роботи виробничих систем в приладобудуванні. Стартуп-проект реалізації імітаційного моделювання складних систем.

7. Орієнтовний перелік публікацій Статті та тези доповідей за темою магістерської дисертації (надано в Додатку в вигляді Форми 26)

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартуп-проект	Бояринова К.О., к.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 3.09.2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Виконати аналіз стану питання математичного моделювання та оптимізації роботи виробничих систем та поставити задачі дисертаційних досліджень	17.09.2018 р.	
2	Розробити основи побудови та моделювання роботи виробничих систем на основі мереж Петрі	08.10.2018 р.	
3	Розробити систему імітаційного моделювання виробничих систем на основі мереж Петрі	15.10.2018 р.	
4	Розробка методики імітаційного моделювання виробничих систем засобами створеної системи Plant Simulation	12.11.2018 р.	
5	Практичне застосування використання розробленої системи для моделювання роботи дільниць механічного та складального цеху	22.11.2018 р.	
6	Розробка стартуп-проекту реалізації методики імітаційного моделювання виробничих систем	03.12.2018 р.	

Студент

(підпис)

К.Г. Філоненко
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

С.П. Вислоух
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків у вигляді тексту програм, результату програм, креслення деталей, технологічної документації, списку наукових праць та акту впровадження. Робота складається з 114 аркушів, до неї входять ілюстрацій, таблиць, список літератури та 4 додатки.

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформовані мета і задачі роботи, наукова новизна та практична корисність, основні положення.

У першому розділі дисертації представлений огляд стану моделювання роботи виробничих систем, розглянуто поняття виробничої системи та засоби математичного моделювання складних систем, а також проведена постановка задач дисертаційних досліджень.

У другому розділі наведено особливості побудови та використання виробничих систем, описані їхні методи формалізації та проведено вибір ефективного методу їх опису та моделювання.

У третьому розділі досліджено систему Plant Simulation та особливості її застосування, розглянуто опис складних систем засобами системи Plant Simulation. Описано моделювання роботи виробничої системи засобами Plant Simulation та перевагу даної системи

У четвертому розділі описано практичне використання розробленої системи. Описано етапи створення імітаційного моделювання роботи виробничої дільниці механічного цеху при виготовленні деталі та етап створення імітаційного моделювання роботи виробничої дільниці складального цеху при складанні газового датчика, а також приведено результати комп'ютерного експерименту та рекомендацій щодо покращення.

У п'ятому розділі менеджменту стартап-проекту проведено опис проекту, технологічний ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту та розроблення ринкової стратегії проекту.

Ключові слова: приладобудування, мережі Петрі, виробнича система, модель, Plant Simulation, система моделювання, оптимізація виробничої системи.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of an introduction, five sections, conclusions, list of used literature and appendices in the form of program text, program results, drawing of details, technological documentation, list of scientific works and implementation act. The work consists of 114 sheets, it includes illustrations, tables, literature list and 4 attachments.

The introduction substantiates the relevance of the problem, formed the purpose and tasks of work, scientific novelty and practical utility, the main provisions.

The first section of the dissertation presents an overview of the state of the modeling of production systems, the concepts of the production system and the means of mathematical modeling of complex systems, as well as the setting of tasks of dissertation research.

The second section presents the peculiarities of the construction and use of production systems, describes their formalization methods, and chooses an effective method for their description and modeling.

The third chapter explores the Plant Simulation system and features of its application, discusses the description of complex systems by means of the Plant Simulation. The modeling of the production system by means of Plant Simulation and the advantage of this system is described

The fourth section describes the practical use of the developed system. The stages of creation of simulation modeling of the production section of the mechanical shop during the manufacture of the part and the stage of creation of simulation modeling of the production area of the assembly shop during the assembly of the gas sensor are described, as well as the results of the computer experiment and recommendations for improvement.

In the fifth section of the startup project management, a description of the project, the technological idea of the project, the analysis of market opportunities for

launching the project and the development of a market strategy of the project has been conducted.

Key words: instrumentation, Petri's network, production system, model, Plant Simulation, modeling system, optimization of production system.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	15
1.1. Виробнича система як складна система та особливості її моделювання....	15
1.2. Засоби математичного моделювання складних систем.....	19
1.3. Стан математичного моделювання роботи виробничих систем в приладобудуванні.....	25
1.4. Постановка задачі дисертаційних досліджень.....	28
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	30
2.1. Особливості побудови та використання виробничих систем.....	30
2.2. Методи формалізації та моделювання роботи виробничих систем.....	37
2.3. Вибір ефективного методу опису та моделювання виробничих систем.....	51
Висновки до розділу.....	53
РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ PLANT SIMULATION ДЛЯ ОПИСУ РОБОТИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ.....	54
3.1. Система Plant Simulation та особливості її застосування.....	54
3.2. Опис складних систем засобами системи Plant Simulation	58
3.3. Моделювання динаміки роботи виробничих систем за допомогою системи Plant Simulation	64
Висновки до розділу.....	71
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ТА СИСТЕМИ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ В ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.....	73

4.1. Імітаційне моделювання роботи виробничої ділянки механічного цеху при виготовленні деталі.....	73
4.2. Імітаційне моделювання роботи виробничої ділянки складального цеху при складанні хвильового редуктора.....	79
4.3. Методичні рекомендації зі створення імітаційної моделі виробничої системи та проведення відповідного комп'ютерного експерименту.....	85
Висновки до розділу.....	87
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ».....	
5.1. Опис ідеї проекту	89
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	89
5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту	96
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	98
Висновки до розділу.....	102
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	104
ДОДАТКИ	
Додаток А – Схеми алгоритмів.....	115
Додаток Б – Текст програми.....	116
Додаток В – Креслення деталі «Ротор»	117
Додаток Г – Креслення «Газовий датчика»	119

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВС – виробнича система;

ГВС – гнучка виробнича система;

ЧПК – числове програмне керування;

ЕОМ – електронно обчислювана машина;

АСУ ТП – автоматизовані системи управління технологічними процесами;

ТП – технологічний процес;

АСУВ – автоматизовані системи управління виробництвом;

ПЗ – програмне забезпечення;

БД – бази даних;

СМ – система моделювання;

САПР – система автоматизованого проектування;

СМО – система масового обслуговування;

ТС – технологічна система

ВСТУП

Актуальність дослідження. Імітаційне моделювання застосовується у всіх сферах діяльності людини починаючи від моделей технічних, технологічних та організаційних систем.

Основна цінність імітаційного моделювання полягає в тому, що в основі його покладена методологія системного аналізу. Воно дозволяє здійснити дослідження, що включає взаємопов'язані етапи: змістовну постановку задачі, розробка моделі, розробка і програмна реалізація імітаційної моделі, перевірка адекватності моделі та оцінка точності результатів моделювання, планування і проведення експериментів, прийняття рішень. Це дозволяє використовувати імітаційне моделювання як універсальний метод для прийняття рішень в умовах невизначеності та для врахування в моделях важко формалізованих факторів, а також застосовувати основні принципи системного підходу для вирішення практичних задач.

Модель являє собою опис системи, рівень деталізації якої залежить від мети моделювання і можливості отримання вихідних даних з необхідною точністю. Включати або не включати даний елемент системи в модель визначає дослідник. Модель існує в розумі розробника, тобто вона суб'єктивна за своєю природою і відображає загальні властивості і закономірності у світі об'єктів. Об'єкти можуть бути визначені через перерахування їх атрибутів (властивостей) для даного об'єкта. Успіх моделювання багато в чому залежить від того, наскільки добре дослідник може виділяти важливі елементи системи й описати взаємозв'язки між ними.

На відміну від інших видів моделювання імітаційне моделювання враховує зміну властивостей об'єктів у часі, тобто імітаційні моделі - це динамічні моделі. Вони можуть бути детермінованими або стохастичними. Врахування у моделі випадкових чинників призводить до необхідності їх

статистичної оцінки результатів моделювання. Тоді здійснюється методом статистичного моделювання.

Об'єкт дослідження: виробничий процес.

Предмет дослідження: Моделювання складних систем засобами мереж Петрі.

Мета роботи – підвищення ефективності аналізу та використання ВС на основі розробки методик імітаційного моделювання засобами системи Plant Simulation.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати особливості побудови та використання виробничих систем;
- розглянути стан математичного моделювання роботи виробничих систем в приладобудуванні;
- розглянути методи формалізації та моделювання роботи виробничих систем;
- провести вибір ефективного методу опису та моделювання виробничих систем;
- надати особливості моделювання засобами Plant Simulation та особливості її застосування;
- провести опис складних систем засобами системи Plant Simulation;
- виконати імітаційне моделювання роботи виробничої ділянки механічного цеху при виготовленні деталі;
- виконати імітаційного моделювання роботи виробничої ділянки складального цеху при складанні газового датчика;
- надати методичні рекомендації, щодо розробки методики створення імітаційних математичних моделей роботи ВС;

– виконати впровадження методики імітаційного моделювання виробничих систем в приладобудуванні.

Методи дослідження – поставлені завдання у дисертаційній роботі вирішувалися з використанням методів технології приладобудування, системного аналізу, теорії мереж Петрі, а також методів імітаційного моделювання і програмування складних систем.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- створено методику імітаційного моделювання складних виробничих систем;
- створено математичну модель технологічного процесу виготовлення деталі «ротор»;
- створено математичну модель технологічного процесу складання газового датчика.

Практична корисність дисертаційної роботи є такою:

- розроблено алгоритм методу імітаційного моделювання з використанням системи Plant Simulation;
- визначено оптимальне завантаження роботи обладнання при виготовленні деталі «ротор» шляхом проведення комп'ютерної імітації;
- визначено оптимальне завантаження роботи обладнання при складанні газового датчика шляхом проведення комп'ютерної імітації;
- надано методичні рекомендації з використання системи Plant Simulation при моделюванні виробничих систем в приладобудуванні.
- результати створеного стартап-проекту за темою дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертації. Матеріали, що входять до дисертації були опубліковані в наукових статтях: збірник тез доповідей Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» м. Чернігів 01-03 листопада 2017; VII Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та

системи – 2018», м. Лазурне, 2018 р.; XI Міжнародна науково-технічна конференція “Приборостроения-2018”, м. Мінськ, 14–26 листопада 2017 р.; III Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», м. Луцьк, 11-12 жовтня 2018 р.; XIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», м. Київ, НТУУ «КПІ», 15-16 травня 2018р., а також у збірнику XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні », м. Київ, НТУУ «КПІ», 04-05 грудня 2018р. збірник тез доповідей XX Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», м. Дніпро, НЦАО, 11-13 квітня 2018р.

Публікації. Матеріали, що входять до дисертації були опубліковані в наукових статтях: збірник тез доповідей XVII міжнародної науково-практичної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво» м.Чернігів 01-03 листопада 2017; збірник тез доповідей VII Міжнародна науково-технічна конференція «Датчики, прилади та системи – 2018», м. Лазурне, 2018 р.; збірник тез доповідей XIII Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», м. Київ, НТУУ «КПІ», 12 квітня 2017р. збірник тез доповідей ; збірник тез доповідей XI Міжнародна науково-технічна конференція “Приборостроения-2018”, м. Мінськ, 14–26 листопада 2017р.; збірник тез доповідей III Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», м. Луцьк, 11-12 жовтня 2018 р.; збірник статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», м. Київ, НТУУ «КПІ», 15-16 травня 2018р., а також у збірнику праць XIV Міжнародної науково-практичної конференції

студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні », м. Київ, НТУУ «КПІ», 04-05 грудня 2018р

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДИСЕРТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Виробнича система як складна система та особливості її моделювання

Виробнича система (ВС) – це система організації промислового виробництва, яка складається з коштів і предметів виробництва, виробничих процесів і робочої сили, спільне функціонування яких дозволяє виготовляти продукцію, що має споживчу цінність [1].

Сучасні виробничо-технічні системи – автоматичні лінії, роботизовані комплекси, гнучкі виробничі системи та інші види технічних об'єктів, що функціонують в різних галузях техніки, є складними за структурою, пов'язаних між собою і функціонують в певній взаємодії.

Традиційні підходи до розробки виробничих систем та прийняття проектних рішень базуються, як правило, на інженерних методах обґрунтування і розрахунку конструкції технічних засобів, а також на технологічних аспектах роботи таких систем.

Подібні методи не враховують високу структурної та організаційної складності сучасного виробництва, що істотно знижує якість проектування і точність одержуваних рішень. Це неприпустимо, з огляду на високу собівартість. Тому необхідною передумовою успішного проектування, дослідження і реалізації технологічних систем в сучасних умовах є стратегія, при якій основні технічні рішення на ранніх стадіях розробки приймаються, в першу чергу, на основі наукових підходів з використанням попереднього моделювання та автоматизованого проектування, що дозволяють реалізувати

ітераційний процес визначення компоновки, структури і вибору великого числа проектних параметрів [2].

Існує велике різноманіття визначень, що пояснюють поняття виробничої системи. Автор [3] визначає виробничу систему, як частину виробничого процесу, що розділяється в результаті розподілу деяких елементів системи, що може самостійно або взаємодіючи з іншими аналогічними системами задовольняти ті чи інші потреби і запити

У [4] статті автоматичні роторні лінії, їх особливості як виробничої системи. Основною темою статті було описання розвитку автоматичних ліній від їхнього створення до нашого часу, їх технологічне оновлення та покращення.

Всі підприємства є складними ієрархічними системами, які мають такі складові: робоче місце, ділянка, цех, виробництво (рис. 1.1) .

В рамках підсистеми проходять певні види діяльності. Їх самостійність, визначеність мети та зміст надають їм можливість інтегруватися у наступні функціональні підсистеми: організація виробничих процесів; елементна складова виробництва; виробнича інфраструктура підприємства; управлінська підсистема підприємства [5].

Гнучкості виробничої системи (ГВС) може досягати за допомогою використання методів регулювання окремих її параметрів процесу при збереженні цільності конструкції її функціональних елементів, але лише в деяких технологічних виробів[6].

ГВС можливо кваліфікувати такими сферами використання, як рівень автоматизації, гнучкістю системи, її функціональним призначенням, розвитком деяких її структур і типом параметрів автоматизована транспортно-складська система (АТСС) [7-9].

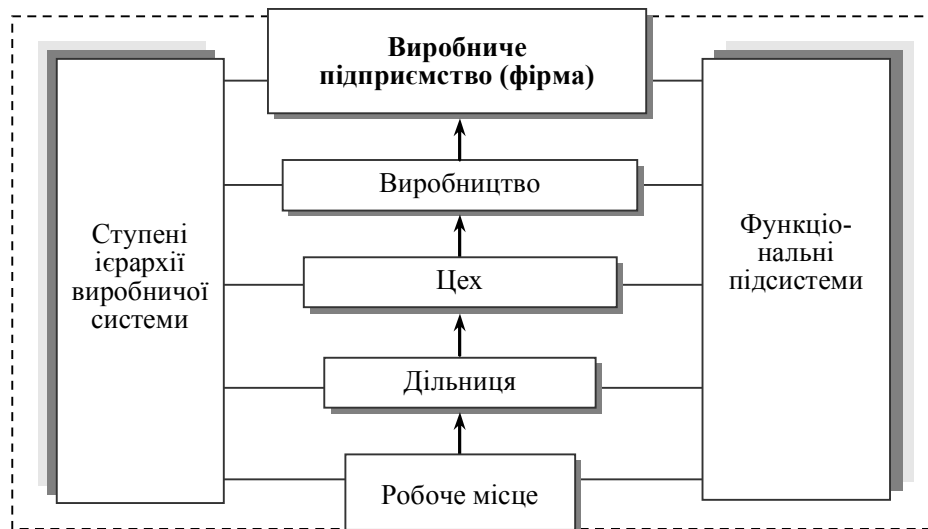


Рис. 1.1. Ієрархічна структура виробничої системи.

При створенні ВС перед розробником постають недоліки створюваної системи. До проблем можна відносити використання ВС не за її призначенням без врахування деяких окремих елементів, які в подальшому експлуатуванні системи можуть вплинути на її функціонування.

Для впровадження ВС у виробництво, треба провести імітацію системи, тобто побачити усі можливі ризики на початковому етап. Створити необхідні елементи для усунення цих недоліків.

Дисертація [10] показує основні переваги гнучких виробничих систем перед традиційними виробничими системами. Метою цієї дисертації являється розглядання недоліків розробки гнучких виробничих систем та відсутність методології розробки цих самих систем. Наведено схеми та діаграми стану критеріїв ефективності.

В [11] показано що виробничі системи мають такі особливості при моделюванні:

- аналіз та вибір математичного апарату і методів моделювання, враховують конкретні умови і особливості системи;

- вибір математичних моделей з урахуванням особливостей ранніх стадій розробки

- обґрунтування вибору внутрішніх параметрів системи, її вихідних характеристик, які повинні бути враховані в моделі;

- вибір цільової функції ефективності, вибір критеріїв оптимальності;

- обробка результатів моделювання, оцінка точності моделей.

Автор [12] надає наступне визначення: виробнича система це спосіб організації виробничих процесів, таких як організація робочих операцій, управління матеріальними потоками на виробництві, обслуговування обладнання, управління якістю продукту тощо. Виробнича система охоплює усі стадії діяльності підприємства та виробничого процесу, оскільки від ефективності виробничої системи залежать працездатність підприємства, час виготовлення та якість самої продукції.

В [13] описано виробничу систему як об'єкт моделювання та її складові. Метою статті є узагальнення методу відносних і граничних показників виробництва різних типових деталей на основі співвідношень між абсолютними і відносними величинами багатofакторних функцій та визначення часткового і повного виробництва, які дають змогу побачити складові даної виробничої системи. У цій статті наведено характеристики, якими можна характеризувати реальну моделі та виробничі системи.

Аналітичне моделювання, що широко використовується на ранніх стадіях проектування, пов'язане з розробкою математичних моделей, в явному вигляді, що пов'язують основні (внутрішні) конструктивними параметри з якимись зовнішніми (початковими) умовами і шуканими вихідними характеристиками виробництва. Такі моделі, що складені з використанням різних математичних методів, наприклад, на основі теорії масового обслуговування, дозволяють, правда, з деякими припущеннями, врахувати випадковий в часі характер

протікають в системах технологічних процесів і операцій, але їх, вдається отримати тільки для порівняно простих об'єктів [14].

Імітаційне моделювання [15] дає можливість відтворити в часі процес роботи виробничої системи, відтворюючи елементарні операції її функціонування (технологічні, завантажувально-розвантажувальні, транспортні) зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі. Це дозволяє за вихідними даними отримати відомості про стан системи в будь-який момент часу, а також оцінити її вихідні характеристики. Основною перевагою імітаційного моделювання в порівнянні з аналітичним в таких умовах є можливість вирішення більш складних завдань. Імітаційні моделі дозволяють, зокрема, більш точно, ніж при аналітичному моделюванні, врахувати численні випадкові чинники, характерні, наприклад, для гнучкого багатомономенклатурного виробництва.

1.2. Методи математичного моделювання складних систем

Особливістю вирішення завдань планування і управління виробництвом є необхідність врахування при їх вирішенні множини змінних величин, що характеризують постійно мінливі ринкові умови. Найбільш перспективним напрямком вирішення завдання являється імітаційне моделювання, яке дозволяє отримати якісні і кількісні оцінки можливих наслідків рішень. У роботах багатьох авторів вказується, що імітаційні моделі – найбільш поширені засоби управління та дослідження операцій в промисловими підприємствами та організаціями. Це пояснюється тим, що вони дають інструментальну підтримку аналізу функціонування з метою вдосконалення виробничих та управлінських процесів, скоординованої роботи всіх підсистем

В [16] вказано історія розвитку імітаційного моделювання, показано кілька поколінь програмних засобів, еволюція яких може бути представлена у вигляді послідовної зміни шести поколінь:

1. Перше покоління (1950-ті рр.) – програмування моделей на мовах високого рівня спеціальної підтримки. Програми для задач моделювання розроблялися на основі універсальних мов, таких як FORTRAN і ALGOL.

2. Друге покоління (1960-ті рр.) – спеціальна підтримка моделювання у вигляді відповідних виразів мови, генераторів випадкових чисел, засобів представлення результатів; 1960-1965 рр. – з'явилися перші мови моделювання: GPSS (мова транзактів), СИМУЛА (мова процесів), SIMSCRIPT (мова подій), ЦСЛ (мова робіт), SOL, GASP, SLAM; 1965-1970 рр. – створено друге покоління мов моделювання: GPSS V, SIMSCRIPT II.5, SIMULA 67, GASP-IV .

3. Третє покоління (1970-ті рр., CADSIM, DEMOS, ACSL, MODEL-6, GEAR ...) – можливість комбінованого безперервно-дискретного моделювання. Розвиток вже розроблених мов і засобів моделювання, орієнтованою на підвищення ефективності процесів моделювання та перетворення моделювання в більш простий і швидкий метод дослідження складних систем.

4. Четверте покоління (1980-ті рр., SLAM II ПК System Animation, PC Model SIMFACTORY, GPSS PC, XCELL) – орієнтація на конкретні галузі застосування, можливість анімації. Розробка імітаційних систем, що містять інтерфейс не програмуючого користувача, вхідні і вихідні аналізатори, можливість анімації процесу імітаційного моделювання. Перенесення програмного забезпечення для імітаційного моделювання на персональні ЕОМ з використанням засобів графічного інтерфейсу (для візуалізації і анімації процесів моделювання).

5. П'яте покоління (1990-ті рр., SIMPLEX II, SIMPLE ++) – графічний інтерфейс, інтегроване середовище для створення і редагування моделей, планування експериментів, керування моделюванням і аналізом результатів.

Розробка засобів технологічної підтримки процесів розподіленого імітаційного моделювання на мультипроцесорних ЕОМ і мережах.

6. Шосте покоління (кінець 1990-х – наш час, Arena, AutoMod, Anylogic) – інтегровані системи імітаційного моделювання, в яких розвиваються найважливіші особливості засобів п'ятого покоління.

Надалі будуть розглянуті основні існуючі на сьогодні програмні інструменти моделювання систем з протікають в них дискретними динамічним процесами: AnyLogic, Arena, GPSS, SIMPROCESS, AllFusion Process Modeler, Plant Simulation.

1.2.1. Система моделювання AnyLogic

В [17] представлена імітаційна система AnyLogic. AnyLogic являє собою гнучкий інструмент імітаційного моделювання, який допускає безліч шляхів для вирішення поставленого завдання. При розробці моделі на AnyLogic використовується концепції і кошти з декількох класичних областей імітаційного моделювання: динамічних систем, дискретно подієвого моделювання, системи динаміки, агентного моделювання. Основною перевагою є те що система підтримує графічну оболонку для зображення деяких моделей графічно та розробки документації у даному середовищу програмування. Недоліком є те ще навіть при скороченню програмування до мінімуми, користувач повинен знати Java.

Побудова моделі в AnyLogic не потребує написання програмного коду. Якщо для створення деяких елементів, вам потрібно їх створити, то це можливо зробити за допомогою програмування мовою Java . У такому випадку це зводиться до опис деяких дій, при переході з одного стану в інший. Крім того, можливо використовувати встроєні бібліотеки, які вже є в системі. Це робить систему AnyLogic легко розширюваною [18].

При розробці моделей в AnyLogic можна застосовувати концепції та засоби з різних підходів моделювання, наприклад, в агентній моделі можна використовувати методи системної динаміки для представлення змін станів середовища, в неперервній моделі динамічної системи врахувати дискретні події. Наприклад, управління ланцюгами поставок за допомогою імітаційного моделювання вимагає опису учасників ланцюгу поставок агентами: виробники, продавці, споживачі, мережа складів. При цьому виробництво описується в рамках дискретно-подійного (процесного) моделювання, продукт чи його частини — заявки, автомобілі, поїзди — ресурси. Самі поставки представляються дискретними подіями, але при цьому попит на товари може описуватися неперервною системно-динамічною діаграмою. Можливість змішувати підходи дозволяє описувати процеси реального життя, а не підганяти процес під доступний математичний апарат [19].

1.2.2. Система моделювання Arena

У [20] розглядається моделювання за допомогою систем Arena. Тут представлено основні алгоритми цієї програми для моделювання та її код. Показано декілька прикладів, які можна змоделювати. Основними недоліками цієї програми є те що вона розроблена у 1993 році, тобто основний код програми це SIMAN, який на сьогоднішній день майже не використовується. Також щоб побудувати модель нам подібно розробити алгоритм цієї моделі, а це значить, що вона призначена для моделювання малих об'єктів.

Після проведення моделювання, результат буде відображатися в анімаційній системі Cinema Animation. Інтерфейс Arena підтримує такі різноманітні засоби для обробки даних, електронні таблиці, БД, ODBC, OLE, підтримку формату DXF [21-22].

1.2.3. Система моделювання ARIS

Система ARIS [23, 24] – це поняття про сімейство програм, що використовуються в ній, вони розроблені компанією IDS Scheer AG (Німеччина) для опису виробничих процесів, аналізу, подальшого вдосконалення ВС підприємства та керування ними.

У книзі [25], автор описує систему моделювання яка має гарний графічний інтерфейс, а також велику кількість стандартних об'єктів для проведення моделювання .

Перевагою системи ARIS є [26]: гарний графічний інтерфейс; розширена БД; імпортування даних у інші системи імітаційного моделювання; динамічне моделювання; невисокі технічні характеристики до програмного продукту.

Недоліком системи є ціна даного продукту, яка розрахована на європейський та американський ринок. Це зменшує можливість використання даного продукту на території СНГ, які використовують програми з інтерфейсом на російській мові.

1.2.4. Система моделювання GPSS World

GPSS World – загально цільова система імітаційного моделювання, яка представлена потужним середовищем для комп'ютерного моделювання, що розроблена для людей, що працюють в області моделювання. Система GPSS World працює в області дискретного програмування та і в безперервному програмуванні, який має гарне візуальне представлення результатів обробки [27].

У [28] представлена система GPSS World , перш за все, була призначена для розширення можливостей користувача. Вона виносить всі примітиви

моделювання на поверхню призначеного для користувача інтерфейсу, спрощуючи процес візуалізації і управління моделюванням. Результатом стала можливість більш швидкої розробки, тестування і розуміння моделей, ніж будь-коли раніше. Недоліком є те що програмі на мові GPSS досить складно уявити безпосередньо процеси обробки даних на рівні алгоритмів. Крім того, модель являє собою програму, а значить не має графічної інтерпретації, що ускладнює процес розробки моделі і знижує наочність моделі в цілому.

1.2.5. Система моделювання AllFusion Process Modeler

AllFusion Process Modeler (раніше BPWin) – CASE-засіб для моделювання бізнес-процесів, що дозволяє створювати діаграми в нотації IDEF0, IDEF3, DFD. В процесі моделювання BPwin дозволяє переключитися з нотації IDEF0 на будь-яку гілку моделі на нотацію IDEF3 або DFD, а також створити змішану модель. AllFusion Process Modeler володіє інтуїтивно-зрозумілим графічним інтерфейсом, швидко і легко освоюється, що дозволяє зосередитися на аналізі самої предметної області, не відволікаючись на вивчення інструментальних засобів. AllFusion Process Modeler допомагає швидко створювати і аналізувати моделі з метою оптимізації ділових і виробничих процесів [29].

AllFusion Process Modeler - підтримує відразу три стандартні нотації – EDEF0 (функціональне моделювання), DFD (моделювання потоків даних) і IDEF3 (моделювання потоків робіт). Ці три основні ракурси дозволяють комплексно описати предметну область.

До основних мінусів даної програми можна віднести: можливість розробки тільки статичних моделей, в яких неможливо ієрархічна сукупність діаграм, які пов'язані з неможливістю прив'язати імітацію до часових параметрів.

1.2.6. Система моделювання SIMPROCESS

Пакет SIMPROCESS – це програма для ієрархічного моделювання, в якій поєднується співставлення процесів, калькуляцію активностей для підвищення продуктивності імітаційних моделей, моделювання дискретних подій. Компанія-розробник SIMPROCESS – CACI Products Company (США). Система SIMPROCESS орієнтована на організацію при якій потрібно аналізувати різні сценарії розвитку підприємства і зменшувати ризики на всіх етапах виробничого процесу. SIMPROCESS підтримує дискретно-подієве моделювання. Графічний інтерфейс дозволяє побачити динаміку моделювання «вузьких місць» в моделі [30].

1.2.7. Система моделювання Plant Simulation

Робота [31] присвячена моделюванню у імітаційному середовищі Plan Simulation. Продукт заснований на об'єктно-орієнтованій концепції, завдяки чому істотно полегшується створення, зміна, аналіз і оптимізація моделі. Модель представляється сукупністю взаємодіючих об'єктів, які містяться у великій кількості вбудованих бібліотеках системи. Недоліком являється те що Відсутність можливості отримання стандартних відхилень тимчасових і кількісних характеристик об'єктів, що моделюються за допомогою стандартних засобів.

1.3. Стан математичного моделювання роботи виробничих систем

У статті [32] описаний один із прикладів використання імітаційного моделювання на основі виготовлення клапанів. Моделювання проводиться за допомогою програми ARENA. Основною метою статті є розробка імітаційної

моделі виробничих процесів Луганського підприємства по виробництву клапанів, яка дозволить розраховувати основні технологічні показники роботи підприємства і оцінювати заходи, спрямовані на підвищення ефективності його функціонування. У статті представлений алгоритм, за допомогою якого показано як можна зменшити час на виготовлення клапанів та недосконалість даного виробництва, та саме, де, ця недосконалість та як її можна вирішити.

Робота [33] присвячена роботі системи ARENA для виробничих ліній. У представлений алгоритм сегмента роботи виробничої лінії, сама модель лінії та деякі розрахунки. За допомогою моделювання було розраховано потік продукції та зменшений час простою.

У [34] було представлено автоматизацію виробництва складального цеху за допомогою GPSS WORLD. Метою є розрахунок кількості працівників у складальному цеху та їх розподіл між операціями, щоб правильно скласти графік розподілу обладнання. У цій статті представлено розрахунки та алгоритми, що дозволяють побачити роботу підприємства у декількох режимах. Недоліком цієї статті можна вважати те, що моделювання майже не використовує автоматизацію підприємства.

У [35] статті йдеться мова про моделювання конвеєрного складання за допомогою GPSS WORLD. Метою даної роботи зменшення завантаження конвеєра на виробництві, яке відбувається нерівномірно, моделювання положення вантажів на стрічці, яке залежить від швидкості стрічки, від розмірів вантажів і частоти завантаження. Та розрахунок окремих моментів часу, бо конвеєр може бути перевантажений або недовантажений, тому що випадкові зміни навантаження на конвеєрі відображаються на приводі. У роботі були проведенні розрахунки та представлені блок схеми

Робота [36] присвячена моделювання виробничої лінії за допомогою AnyLogic. Основною цієї праці було зменшення часу виконання продукції та правильне розташування самої лінії в цеху. У роботі викладено метод,

заснований на «лінійної апроксимації імовірнісних розподілів і обчисленні ризиків за завданнями, пов'язаними відносинами прямування. Метод являє собою порядок розрахунків, що дозволяє оцінювати ризик і перепланувати ланцюжка пов'язаних завдань безпосередньо в реальному часі, коли розподіл завдань по співробітниках постійно змінюється у зв'язку з непередбаченими подіями ». В статті можна побачити розрахунок цього методу, діаграму, алгоритм та модель цієї лінії.

У публікація [37] описано моделювання виробничого цеху за допомогою програми AnyLogic. Завдання даної роботи є організаційного проектування при створенні нових виробництв, технічне переозброєння і реконструкції діючих, яка передбачає попередній розрахунок виробничої потужності за усередненим значенням попиту, отриманого на основі прогнозних або статистичних даних та виробниче планування, пов'язаної зі складанням змінно-добових завдань для періодично змінюються величин. У цій статті був приведена модель та графічна її складова у вигляді самого цеху, що дає змогу побачити анімацію роботи самого виробництва. Була проведена модуляція, яка показала зменшення витрат напруги на виробництві та зменшення часу самого виробництва.

У статті [38] наведено приклад моделювання цехового приміщення за допомогою Plan Simulation. Основним завдання є показання візуалізації в продукті, тобто її двовимірної модель з анімацією. Альтернативою є тривимірної візуалізація, яка дає велику наочність представлення результатів. Також розповідається про те що Plan Simulation заснований на об'єктно-орієнтованій концепції, завдяки чому істотно полегшується створення, зміна, аналіз і оптимізація моделі. Модель представляється сукупністю взаємодії об'єктів, які містяться у вбудованих бібліотеках системи. У роботі представлена модель цеху та його 3-D модель з анімацією.

В роботі [39] описана імітаційна модель механообробного виробництва в системі моделювання Tecnomatix Plant Simulation. За допомогою розробленої

моделі авторам вдалося підвищити продуктивність технологічного процесу в порівнянні з первісним варіантом проектування на 25%. Підвищити продуктивність отримано підбором ємності накопичувачів в системі Experiment Manager.

Приклад використання Tecnomatix Plant Simulation описано в роботі [40]. Авторами розроблено імітаційну модель конвеєрної системи, що здійснює контроль та випробування коробок передач дизельних двигунів великої потужності. Особливістю даної моделі є комбінований склад робочих станцій, на яких операції виконуються з використанням автоматичних робочих станцій. За допомогою розробленої моделі автори виконують серію з чотирьох експериментів, в яких вони визначають кількість носіїв, на яких переміщаються вироби, розмір партій виробів, оптимальне переналагодження робочих станцій, кількість робочих-налагоджувачів, надано рекомендації щодо різних варіантів виробничої ситуації.

У роботі [41] також представлена модель цеху. Метою є скорочення часу виготовлення 50 деталей з технологічним процесом у 40 операцій. У даній роботі представленні моделі старого технологічного процесу, вантажопотоків та нового технологічного процесу, вантажопотоків в яких убрали всі недоліки старих моделей.

1.4 Постановка задачі дисертаційних досліджень

Аналіз стану моделювання виробничих систем в приладобудування, що представлено в різноманітних джерелах (статті, книги, дисертації тощо), дозволив встановити основні напрямки вдосконалення та покращення роботи виробничих систем, де основним засобом їх реалізації є імітаційне моделювання.

Аналіз засобів моделювання виробничих систем показав, що на їх ринку доступна велика кількість систем, які застосовуються у різноманітних галузях –

в основному в економіці. Перевагою даних систем є їх гнучкість і можливість їх використання в у різноманітних галузях.

Серед систем, що використовуються на сьогодні, можна виділити AnyLogic, Plant Simulation, Arena та GPSS. Вказані системи є інструментами моделювання виробничих систем, тому виникає задача створення методики їх використання для імітаційного моделювання технологічних процесів в приладобудуванні.

На основі наведених висновків аналізу роботи виробничих систем в приладобудуванні поставлено наступні задачі дисертаційних досліджень:

- обрати ефективний метод опису та моделювання виробничих систем;
- представити особливості використання вибраного методу – системи Plant Simulation для моделювання виробничих систем;
- надати методику опису складних систем засобами системи Plant Simulation;
- виконати імітаційне моделювання роботи виробничої ділянки механічного цеху при виготовленні деталі за допомогою системи Plant Simulation;
- виконати імітаційне моделювання роботи виробничої лінії складального цеху при складанні приладу за допомогою системи Plant Simulation;
- надати методичні рекомендації щодо методики створення імітаційних математичних моделей та оптимізації роботи виробничих систем в приладобудуванні;
- розробити стартап-проект реалізації методики імітаційного моделювання складних виробничих систем;
- виконати впровадження методики імітаційного моделювання виробничих систем в приладобудуванні.

РОЗДІЛ 2.

ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

2.1. Особливості побудови та використання виробничих систем

В даний час успішність підприємства залежить від різноманітних факторів: вартість товарів та послуг, якість товару, швидкість модифікації виробництва, ефективність маркетингових, оптимально вибудована транспортна система, правильно підібраний час виходу на ринок тощо [41]. Через те, що технології постійно змінюються та розвиваються виробничі процеси, компаніям потрібно вдосконалювати свої технологічні процеси і перебудовувати внутрішню логістику, щоб мати на ринку конкурентоспроможність.

Існує велика кількість технологій і методів моделювання, що дозволяють здійснити попередній аналіз та отримати результати дослідження ВС. На рис.2.1 представлено технології та методики моделювання, які використовуються при проектуванні ВС [42].



Рис. 2.1. Технології та методи моделювання виробничих систем.

Технології моделювання можливо поділити на чотири групи: аналітичне, імітаційне, натурне, комбіноване. Кожна група має свої плюси та мінуси при моделюванні різних об'єктів. Нижче наведено порівняння технологій і методів, що спрямовані на визначення найбільш прийнятних для опису і аналізу роботи ВС.

Для аналітичного моделювання характерно, що процес роботи системи роботи системи записується у вигляді деяких співвідношень (алгебраїчних, диференціальних, інтегральних рівнянь) [43].

Аналітична модель може бути досліджена такими методами:

- 1) аналітичним, коли дослідник хоче отримати, явні залежності від системи;
- 2) чисельним, коли рішення якогось співвідношення неможливо знайти у загальному вигляді та воно вирішується для початкових даних;
- 3) якісним, коли неможливо знайти рішення, але отримують деякі властивості системи.

Аналітичні моделі використовуються лише для порівняння простих систем. Для складних систем часто виникають великі математичні проблеми. Для застосування аналітичної моделі використовують спрощення початкової моделі. Однак таке дослідження не показує усіх аспектів даної моделі, а лише орієнтовні результати. Аналітичні моделі математично правильно відображають зв'язок між вхідними і вихідними змінними і параметрами, але не відображає внутрішню структуру об'єкта. При аналітичному моделюванні його результати представляються у вигляді аналітичних виразів [44].

Безумовно, отримання аналітичних рішень при аналітичному моделюванні виявляється дуже цінним для виявлення загальних теоретичних закономірностей простих лінійних ланцюгів, систем і пристроїв. Однак його складність моделювання різко зростає в міру ускладнення зовнішніх впливів на модель та збільшення порядку і числа рівнянь стану, що описують

модельований об'єкт. Можна отримати доступні результати при моделюванні об'єктів другого або третього порядку, але вже при більшому порядку аналітичні моделі стають складними, та можуть видавати невірні результати. Наприклад, навіть простий електронний рупор часто містить десятки компонентів. Проте, багато сучасних систем аналітичного моделювання, наприклад, системи символічної математики Maple, Mathematica або середовище MATLAB здатні в значній мірі автоматизувати рішення складних завдань аналітичного моделювання. [45 46].

Імітаційне моделювання полягає у числовому розрахунку моделей для отримання статистичної даних на математичній моделі для оцінювання характеристик шуканих величин. Імітаційне моделювання має таку перевагу, як точність, але підвищення точності може призвести до великих навантажень на комп'ютер, через те треба використовувати найновітніші моделі. Щоб уникнути цього використовують низку процедур, щоб згенерувати випадкові величини – машинні алгоритми, які є модифікацією мультиплікативного конгруентного методу. Отримана таким чином послідовність рівномірного розподілу випадкових чисел може призвести до появи послідовності випадкових величин, підпорядкованих іншим законам розподілу. Такими методами є перетворення, композиція, пряма вибірка, компенсація тощо [47].

Імітаційне моделювання має декілька основних методів представлення моделі [48]:

- агенте моделювання, використовується для опису моделей, що складається з окремих об'єктів (агентів), кожен з яких має індивідуальну параметри, при цьому зв'язані з іншими об'єктами ;
- дискретно-подієве моделювання, що розглядає різні процеси як набір послідовно виступаючих подій;
- системна динаміка, застосовується для визначення загальних параметрів на тривалі проміжки часу при дослідженні складних об'єктів за рахунок

визначення причинно-наслідкових зв'язків, можливих затримок і впливу впливів зовнішніх факторів.

Натурних моделюванням називають проведення дослідження на реальному об'єкті з наступною обробкою результатів експерименту на основі теорії подібності. Натурне моделювання поділяється на науковий експеримент, комплексні випробування та виробничий експеримент. Науковий експеримент характеризується широким використанням засобів автоматизації, застосуванням досить різноманітних засобів обробки інформації, можливістю втручання людини в процес проведення експерименту. Одна з різновидів експерименту - комплексні випробування, в процесі яких внаслідок повторення випробувань об'єктів в цілому (або великих частин системи) виявляються загальні закономірності про характеристики якості, надійності цих об'єктів. У цьому випадку моделювання здійснюється шляхом обробки та узагальнення відомостей про групу однорідних явищ. Поряд зі спеціально організованими випробуваннями можлива реалізація натурального моделювання шляхом узагальнення досвіду, накопиченого в ході виробничого процесу, тобто можна говорити про виробничий експерименті. Тут на базі теорії подібності обробляють статистичний матеріал по виробничому процесу і отримують його узагальнені характеристики. Необхідно пам'ятати про відміну експерименту від реального протікання процесу. Воно полягає в тому, що в експерименті можуть з'явитися окремі критичні ситуації і визначитися кордону стійкості процесу. В ході експерименту вводяться нові чинники впливу в процес функціонування об'єкта [49].

Комбіноване (аналітико-імітаційне) моделювання дозволяє об'єднати гідності аналітичного і імітаційного моделювання. При побудові комбінованих моделей виробляється попередня декомпозиція процесу Функціонування об'єкта на складові підпроцеси, і для тих з них, де це можливо, використовуються аналітичні моделі, а для інших підпроцесів будуються імітаційні моделі. Такий

підхід дає можливість охопити якісно нові класи систем, які не можуть бути досліджені з використанням аналітичного або імітаційного моделювання окремо [50].

До математичних моделей технічних систем звичайно пред'являються традиційні вимоги: висока точність, економічність, універсальність. Ці вимоги є в значній мірі суперечливими, тому в даній ситуації необхідно знаходити вдалі компромісні рішення. При виборі ієрархічного рівня моделей (мікрорівень, макрорівень, метарівень) на ранніх стадіях проектування найкращим видається метарівень, що дозволяє укрупнено розглянути об'єкт і визначити його організацію, структуру і основні конструктивні параметри, тобто вирішити завдання ранніх стадій розробки. Як математичного апарату можна використовувати звичайні диференціальні рівняння, теорію масового обслуговування, елементи дискретної математики (наприклад, мережі Петрі). При цьому, як уже зазначалося, можливі як аналітичні підходи, так і використання імітаційного моделювання, коли процеси в системі досліджуються в часі при заданих зовнішніх впливах. Вибір типу моделі, найбільш ефективною в умовах конкретного завдання проектування, визначається її організаційної, конструктивної і технологічної сутністю, формою, обсягом і особливостями подання вихідної інформації, загальною метою дослідження та т.д. Стратегічним завданням подібного моделювання є, в загальному випадку, забезпечення максимальної ефективності проектованої технічної системи [51].

Процедура розробки математичної моделі на ранніх стадіях проектування технічної системи включає, таким чином, наступні етапи:

- збір вихідної інформації про властивості об'єкта;
- вибір характеристик і параметрів, які підлягають відображенню в моделі;

- вибір виду і синтез структури математичної моделі, тобто отримання загального вигляду математичних співвідношень без конкретизації числових значень вхідних параметрів;
- розрахунок числових значень параметрів моделі і обробка результатів моделювання;
- оцінка точності моделі.

З урахуванням вищевикладеного, до методів моделювання, які представляються найбільш підходящими для вирішення завдання проектування технологічних систем на ранніх стадіях розробки, відносяться: математичні моделі з використанням цілочисельного програмування; математичні моделі з використанням мереж Петрі; математичні моделі з використанням систем масового обслуговування; математичні моделі з використанням структурно-логічного методу [52].

Основним методом, що використовується в приладобудівному виробництві в моделюванні роботи ВС, є дискретно-подієвий метод.

Дискретно-подієве моделювання – підхід до моделювання, що пропонує абстрагуватися від безперервної природи подій і розглядати тільки основні події модельованої системи, такі як: "очікування", "обробка замовлення", "рух з вантажем", "розвантаження" і інші. Дискретно-подієве моделювання найбільш розвинене і має величезну сферу додатків – від логістики і систем масового обслуговування до транспортних і виробничих систем. Цей вид моделювання 9 найбільш підходить для моделювання виробничих процесів[53]. Заснований Джеффрі Гордоном в 1960-ті роки. Засновником дискретно-подієвого методу є Джефрі Гордон [54]. Послідовники – Томас Шрайбер [55], Петер Лоренц [56], Карпукін І.М. [57], та інші.

Схема алгоритму імітаційної моделі з використанням дискретно-подієвого методу моделювання на рис. 2.2 [58]. Даний алгоритм в різних засобах імітаційного моделювання має подібний вигляд.

Формалізація імітаційної моделі є результатом формального опису досліджуваного об'єкта.

Програмна реалізація – це виконання дій, що розпочинаються з вибору засобів, якими буде створена імітаційна модель.

Верифікація імітаційної моделі включає у себе різноманітні способи тестування моделі на відповідність її поведінки до реальної поведінки об'єкта, який використовується для імітації.

Експериментальне дослідження включає розробка плану дослідження, введення вхідних даних, встановлення умов та обмежень, а результатом є вихідні дані.

Аналіз отриманих результатів. Тут вихідні параметри інтерпретуються за отриманими результатами досліджуються можливості реального об'єкта.

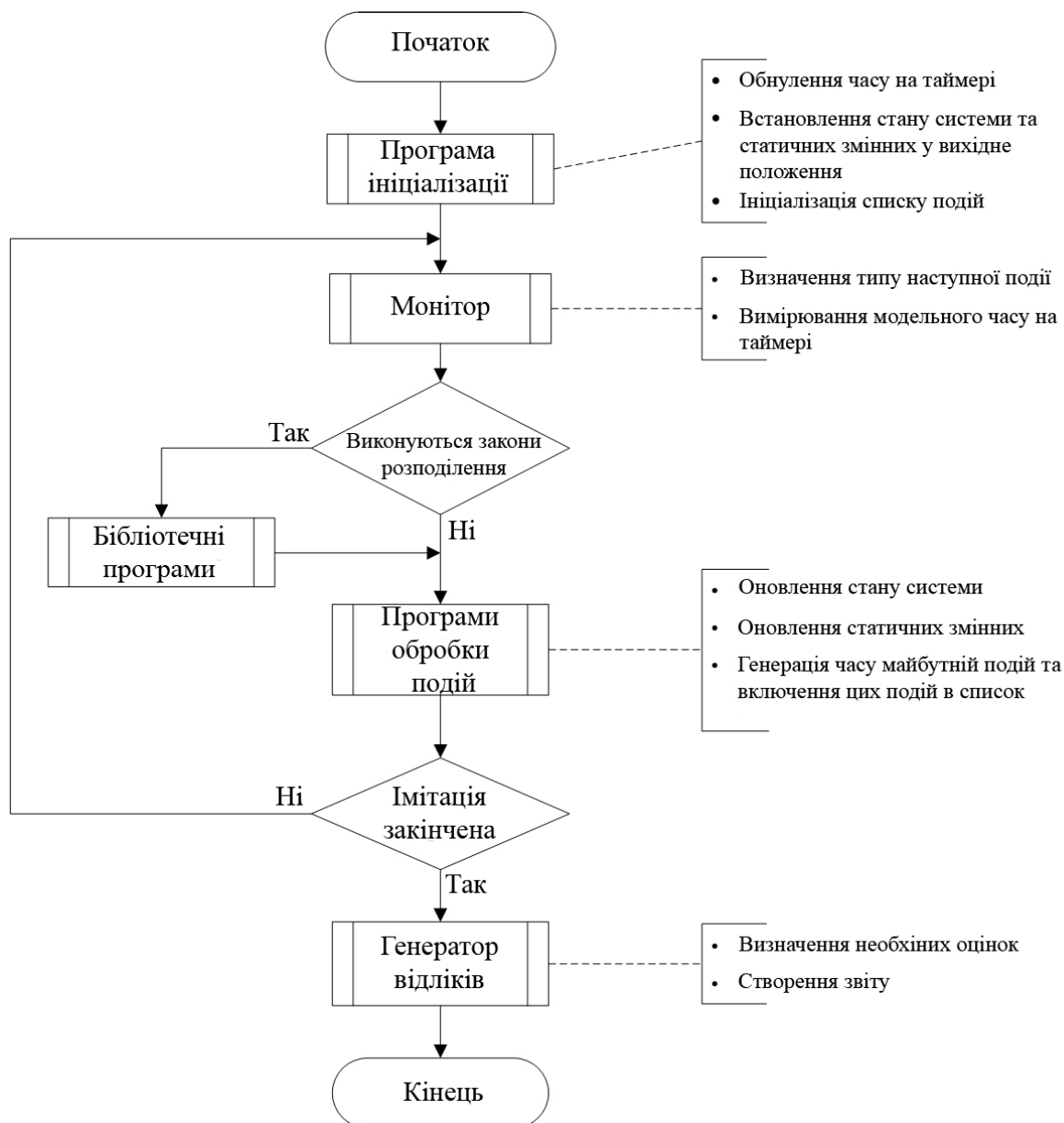


Рис. 2.2. Схема алгоритму імітаційної моделі з використанням дискретно-подієвого методу моделювання [58].

2.2 Методи формалізації та моделювання роботи виробничих систем

Цілочисельне програмування – це розділ математичного програмування, який використовує змінні лише у цілочисельному вигляді. З математичної точки зору, задачі такого типу можуть бути лінійними або нелінійними. Розглянемо

лінійну задачу цілочисельного програмування, для якого запишемо наступну математичну модуль:

$$\begin{aligned} F &= \sum_{j=1}^m c_j x_j \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i, i = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $x_j \geq 0, j = \overline{1, n}; x_j$ — цілі числа. Виходячи з (2.1) бачимо, що зовнішній вигляд задачі лінійного цілочисельного програмування практично не відрізняється від задачі лінійного програмування, за винятком того, що на розв'язок задачі лінійного програмування накладається додаткове обмеження: визначення лише цілих значень змінних. Припустимо, що ми розв'язали деяку задачу лінійного програмування, не враховуючи вимогу цілочисельності, і отримали наступний багатокутник розв'язків $ABCD$.

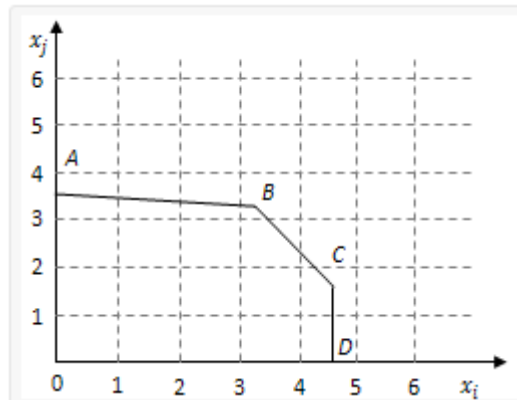


Рис. 2.3. Многокутник розв'язків задачі лінійного програмування.

Якщо до даного розв'язку застосувати умову цілочисельності, то в результаті розв'язком для задачі цілочисельного програмування буде багатокутник $KLMNPO$, в якому цілі числа позначено точками:

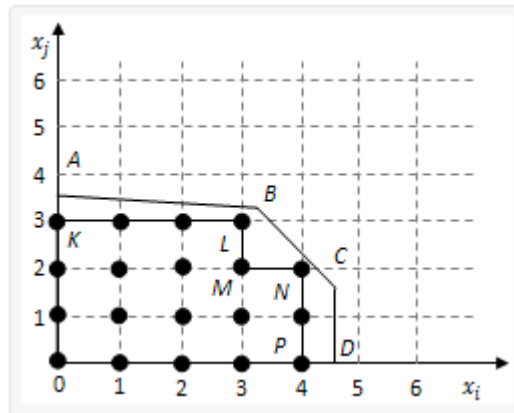


Рис. 2.4. Многокутник розв'язків задачі цілочисельного програмування .

Задачі цілочисельного програмування вирішують проблеми із змінними, які визначають кількість одиниць неподільної продукції, кількість верстатів в цеху, кількість тварин у сільськогосподарських підприємствах, розподіл завдань між підприємствами.

Для розв'язку задач такого типу існує декілька методів, які можна поділити на дві групи:

- метод відсічень (відсікаючих площин; метод Гоморі);
- Комбінаторні методи (метод гілок та меж; аддитивний метод з бінарними змінними) [59].

У статті [60] було показано математичну модель з використанням цілочисельного програмування на основі розрахунку гальванічного цеху. Стаття показує, як за допомогою розрахунків лінійних рівнянь та алгоритму блочної математичної структури можна зменшити час виконання операцій на виробництві. Недоліком цього методу є велика кількість розрахунків та відсутність спеціальних програм для точного проведення цих розрахунків.

Теорія масового обслуговування (теорія черг) — розділ теорії ймовірностей, метою досліджень якого є раціональний вибір структури системи обслуговування та процесу обслуговування на основі вивчення потоків вимог на обслуговування, що надходять у систему і виходять з неї, тривалості очікування

і довжини черг [61]. У теорії масового обслуговування використовуються методи теорії ймовірностей та математичної статистики.

Основи теорії систем масового обслуговування були закладені в працях датського математика, співробітника Копенгагенської телефонної компанії А. К. Ерланга і отримали широкий розвиток у подальших дослідженнях.

Системи масового обслуговування (СМО) зустрічаються повсюди, і це пояснюється широкою розповсюдженістю черг. Такі процеси утворення черг або затримок в обслуговуванні ефективно аналізуються методами дослідження операцій. Проте витрати, пов'язані з науковим аналізом тієї чи іншої практичної задачі масового обслуговування, вважаються (як і в будь-якій іншій галузі організаційного управління) виправданими лише за умови, що економічні наслідки керуючих рішень в сфері, яка аналізується, мають істотний вплив. Як показує досвід, практичне застосування моделей масового обслуговування є економічно вигідним при розв'язуванні двох типів задач, між якими не можна провести чіткої межі, так що можуть існувати різноманітні проміжні варіанти [62].

Незважаючи на те, що умови функціонування різноманітних підсистем великої операційної системи масового обслуговування можуть виявитися неоднаковими, при аналізі, орієнтованому на оптимізацію кількісних показників, що належать до різноманітних однотипних компонентів системи (таких, як кількість вузлів обслуговування, чисельність обслуговуючого персоналу і т.п.), можна використовувати цілком ідентичні процедури. Отже, розроблені одноразово методологію дослідження і методи розв'язання задачі можна застосовувати багаторазово, тому що в кожному конкретному випадку фірмі потрібно лише врахувати відповідні чисельні значення параметрів, які фігурують у моделі, що використовується.

Математична модель системи масового обслуговування (СМО) включає наступні основні елементи: потік вимог, що надходять на вхід системи (вхідний

потік); чергу, що складається з вимог, які очікують на обслуговування; систему обслуговування; вихідні потоки обслужених, втрачених вимог та вимог, що надходять на повторне обслуговування; характеристики якості системи; механізм (дисципліну) обслуговування, які зображені схематично на рис.3.

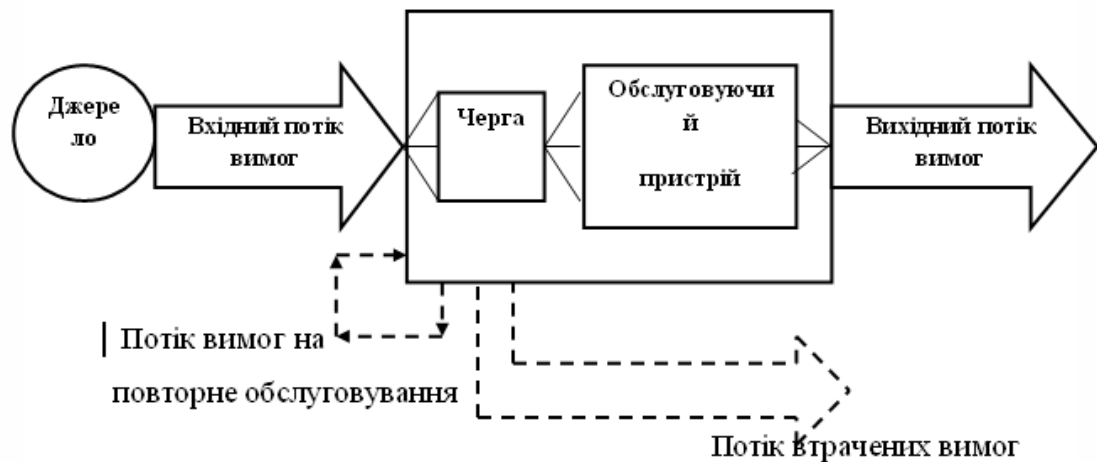


Рис.2.5. Математична модель системи масового обслуговування.

У статті [63] використовується аналітичне моделювання за допомогою теорії систем масового обслуговування (СМО). Метою є розробка математичного апарату аналітичної теорії СМО, що доцільно використовувати для опису роботи багатомісних ВС, це пов'язано з тим, що тимчасові характеристики матеріальних потоків на вході і всередині таких ВС, як правило, носять складний стохастичний характер. Такі потоки доцільно описувати як пуассонівським або найпростіші потоки подій. У цій статті подано розрахунок Матриця Λ інтенсивностей матеріальних потоків між ремонтних обслуговування.

Мережі Петрі (МП) є прикладом семантичних мереж, представлених різновидом орієнтованих двочасткових графів і призначених для моделювання динамічних властивостей різних систем (систем відносин між людьми,

послідовностей дій при виконанні деякої роботи і т.д.). Двочастковий граф містить вершини двох типів: **позиції** (позначаються кружками) і **переходи** (позначаються планками). Мережа Петрі може бути формально подана як сукупність множин:

$$N = (P, T, G, \Omega),$$

де $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ – множина усіх позицій (n – кількість позицій); $T = (t_1, t_2, \dots, t_m)$ – множина переходів (m – кількість переходів); $G = (G_{p \rightarrow t}, G_{t \rightarrow p})$ – множина дуг мережі:

$G_{p \rightarrow t} = (P \times T)$, $G_{t \rightarrow p} = (T \times P)$ – множина дуг, що ведуть відповідно від переходів до позицій і від позицій до переходів (дуг, що з'єднують однорідні вершини, не існує); $\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k)$ – множина вагів дуг (k – кількість дуг). [64 66]

Кожна позиція може бути **маркована**, тобто містити деяке число маркерів. Якщо позначити числа фішок, що знаходяться в i -й позиції p_i як m_i , то **маркування** всієї мережі $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$. Тоді повне визначення мережі Петрі, включаючи дані про початкове маркування, можна записати у вигляді

$$PN = (N, M_0), \text{ де } M_0 \text{ – початкове маркування мережі.}$$

При моделюванні процесів прийняття рішень за допомогою МП її позиції інтерпретують собою деякі умови, стани, значення змінних і т.д. Переходи інтерпретують собою логічні пропозиції (прийняття рішень), що відповідають виконанню дій, при цьому вхідні позиції – умови виконання дій, вихідні позиції – результат виконання дій. Дія (перехід) пов'язана з прийняттям деякого рішення, що ініційовано визначеними умовами і результатом якого є новий стан (умова).

Іншими словами, позиція представляється іменником, а перехід – дієсловом [65].

У статті [66] розглядаються питання вибору ефективного методу моделювання роботи виробничих систем. В якості такого методу пропонується використовувати мережі Петрі. Наведено узагальнений алгоритм моделювання та оптимізації завантаження обладнання виробничої системи й результати апробації запропонованої методики. Результати випробувань системи на реальних технологічних процесах в реальних виробничих умовах показали, що її використання забезпечує значне скорочення часу виготовлення деталей приладів та виробів в цілому. Таким чином з'являється можливість економити матеріальні та фінансові ресурси, що відображається на кінцевій вартості виробів, що виготовляються.

Е-мережі («evaluation nets» – оціночні мережі) – це математичний апарат, який є різновидом мереж Петрі [67], який часто використовується у моделюванні. Дане розширення має деякі особливості:

- позиція може мати лише одну вхідну та лише одну вихідну дугу;
- мітка може мати нескінченний набір атрибутів;
- позиції розділяється на дві групи, за мітками що здатні в них знаходитися: прості і черги;
- переходи можуть бути різноманітних типів;
- кожному переходу можна поставити: тимчасову затримку;
- роздільну функцію (визначення залежності при якому буде здійснений перехід).;
- функцію перетворення атрибутів міток, що проходять через даний перехід

Е-мережі представлені п'ятьма основними параметрів [68]:

$$E = (L, P, R, A, M),$$

де L – кінцева не порожня множина позицій; P – набір додаткових позицій $P \subseteq L$; R – набір позицій керування $R \subseteq L$; A – кінцева непорожня множина переходів; M – функція визначення початкової маркування мережі.

Додаткові позиції ті, у яких немає вхідних або вихідних з'єднань з переходами. Передбачається їх використання для взаємодії зі зовнішньої даної мережі. Вхідні позиції отримують значення у вигляді міток з атрибутами, а вихідні позиції зчитується результат роботи даної мережі мережі.

Позиції поділяються на прості позиції і позиції-черги. При цьому в простій позиції можуть бути не більше однієї мітки в одиницю часу, а позиція-черга може містити нескінчену кількість міток.

Кожен перехід $a \in A$ може бути описаний за допомогою трьох параметрів:

$$a_i = (S, T(a_i), Q(a_i)),$$

де S – тип переходу; $T(a_i)$ – певний для кожного переходу мережі час затримки; $Q(a_i)$ – визначена для кожного переходу мережі функція перетворення атрибутів.

Розвиненням цього виду мереж Петрі було розроблення модифікованих Е-мереж [69], основою в яких стало визначення нової основи у вигляді набору простих мереж.

Проста мережа в модифікованих Е-мережах є група, яка містить лише один перехід, позиції, що з ним пов'язані і умови його роботи. Переходи не містять керуючих позицій, а замість них задається роздільна функція, яка надає залежність, при якій здійснюється перехід.

Просту мережу з переходом t задається наступним набором параметрів [70]:

$$E(t) = (S, P_{in}, P_{out}, f_{in}, f_{out}, d, c),$$

де S – загальна умова, що є обов'язковим для здійснення переходу t , але при цьому недостатнє; P_{in} і P_{out} – групи вхідних і вихідних позицій, пов'язані з

переходом t ; d – функція визначення часу переходу (затримки); c – функція зміни атрибутів міток.

На рис.2.7 показані типи простих мереж, в яких містяться модифіковані Е-мережі.

Т-мережа використовується для збільшення або зменшення кількості міток[71]. Якщо немає вхідних або вихідних позицій мережа представляє собою генератор, що створює об'єкти або навпаки видаляє ці об'єкти. На рис.2.7, а наведений приклад цього типу мережі. Цей приклад можливо описати таким чином:

$$P = C(p_1, p_2, p_3) \wedge \sim(C(p_4) \sqcup C(p_5));$$

$$M'(p_i) = M(p_i) - 1; M'(p_j) = M(p_j) + 1; \quad i = 1, 2, 3; j = 1, 2,$$

де P – умова спрацьовування переходу; C – предикат, що приймає значення одиниці, якщо всі аргументи (позиції) мають мітку; $M(p)$ – маркування позиції; $M'(p)$ – результуюча маркування позиції р.

Х-мережа [72] виконує перетворення вхідних міток в єдину вихідну мітку з вибором позиції. Дозволяє описувати процес розподілу та сортування об'єктів системи.

Дана мережа представлена на рис.2.4, б. Формальний опис:

$$P = C(p_1, p_2, p_3) \wedge \sim C(p_4, p_5);$$

$$M'(p_i) = M(p_i) - 1; i = 1, 2, 3;$$

$$p = F(p_4, p_5); M'(p) = M(p) + 1,$$

де F – функція вибору порожньої позиції.

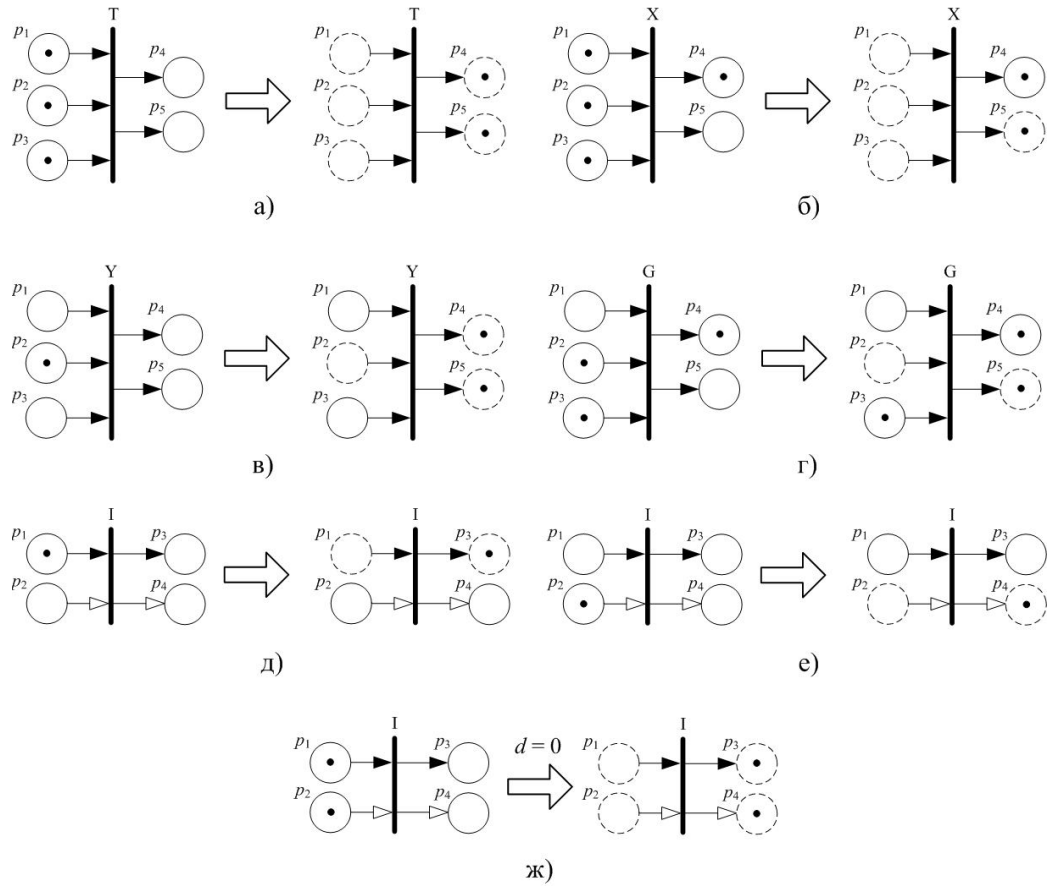


Рис. 2.7. Приклад базового набору простих мереж.

Y-мережа робить протилежну дію до простої X-мережі [72]. Обирається мітка з однією вхідною позицією і додаються мітки в усі вихідні позиції. Y-мережа може використовуватися для моделювання множини джерел надходження об'єктів, наприклад конвеєра. Приклад Y-мережі представлений на рис.2.7, в. Формальний опис мережі виглядає наступним чином:

$$P = (C(p_1) \square C(p_2) \square C(p_3)) \wedge \sim (C(p_4) \square C(p_5));$$

$$M'(p_i) = M(p_i) - 1; i = 1, 2, 3;$$

$$p = H(p_1, p_2, p_3); M(p) = M(p) \tilde{+} 1;$$

$$M'(p_j) = M(p_j) + 1; j = 1, 2,$$

де, H – функція вибору позиції з міткою.

G-мережа об'єднує в собі X-мережі та Y-мережі [73] .

Обирається мітка з однією вхідною позицією і додається в одну вихідну позицію. Дана мережа використовується для маршрутизації. Приклад мережі представлений на рис.2.7, г. Вхідні параметри однакові з параметри Y-мережі, а вихідні параметри однакові з вихідними параметри X-мережі.

I-мережа має позицію, що називається спеціальною, яка дозволяє зупиняти поточну дію (перехід). Вона дає змогу обмежувати операції за часом, та змодельовати динамічну ситуацію.

Якщо з'являється мітка переривання дій, що відбуваються в переході, вони зупиняються, а мітка йде на вихідну позицію. Можливі три ситуації.

1. Мітка присутня тільки в основній (безперервній) вхідній позиції (рис.2.4, д):

$$P = C(p_1) \wedge \sim C(p_2) \wedge \sim C(p_3);$$

$$M'(p_1) = M(p_1) - 1; M'(p_3) = M(p_3) + 1.$$

2. Мітка міститься лише в позиції, що переривається, (рис.2.4, е):

$$P = \sim C(p_1) \wedge C(p_2) \wedge \sim C(p_4);$$

$$M'(p_2) = M(p_2) - 1; M'(p_4) = M(p_4) + 1;$$

$$d = 0.$$

3. Мітки знаходяться в обох позиціях (рис.2.4, ж):

$$P = C(p_1) \wedge C(p_2) \wedge \sim C(p_3) \wedge \sim C(p_4);$$

$$M'(p_1) = M(p_1) - 1; M'(p_3) = M(p_3) + 1;$$

$$M'(p_2) = M(p_2) - 1; M'(p_4) = M(p_4) + 1;$$

$$d = 0.$$

Доведено [74], що для опису будь-якого алгоритму, а значить і ВС, досить використовувати описаний вище набір елементарних мереж.

Технічна система (ТС) - сукупність технічних пристроїв (елементів), призначених для виконання певної функції або функцій. Відповідно, елемент - складова частина системи.

Поділ ТС на елементи досить умовно і залежить від постановки завдання розрахунку надійності. Наприклад при аналізі працездатності технологічної лінії її елементами можуть вважатися окремі установки і верстати, транспортні та завантажувальні пристрої тощо. В свою чергу верстати і пристрої також можуть вважатися технічними системами і при оцінці їхньої надійності повинні бути розділені на елементи - вузли, блоки, які, у свою чергу - на деталі тощо.

При визначенні структури ТС доцільно розділити всі елементи на чотири групи:

- елементи, пошкодження яких практично не впливає на працездатність системи (наприклад, деформація кожуха, зміна фарбування поверхні тощо);
- елементи, працездатність яких за час експлуатації практично не змінюється і ймовірність безвідмовної роботи близька до одиниці (корпусні деталі, мало навантажені елементи з великим запасом міцності) ;
- елементи, ремонт або регулювання яких можливий при роботі виробу або під час планового технічного обслуговування;
- елементи, відмова яких сама по собі або в сполученні з відмовами інших елементів приводить до відмови системи.

Очевидно, при аналізі надійності ТС має сенс включати до розгляду тільки елементи останньої групи.

Для розрахунків параметрів надійності використовуються структурно логічні схеми надійності ТС, які графічно відображають взаємозв'язок елементів та їхній вплив на працездатність системи в цілому.

Структурно-логічна схема являє собою сукупність раніше виділених елементів, з'єднаних один з одним послідовно або паралельно. Критерієм для визначення виду з'єднання елементів (послідовного або паралельного) при побудові схеми є вплив їхньої відмови на працездатність ТС.

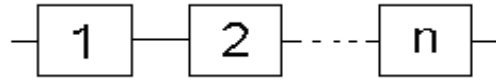


Рис. 2.8. Паралельна схема.

Послідовним (з погляду надійності) вважається з'єднання, при якому відмова будь-якого елемента приводить до відмови всієї системи (рис. 2.1).

Паралельним (з погляду надійності) вважається з'єднання, при якому відмова будь-якого елемента не приводить до відмови системи, поки не відмовлять всі з'єднані елементи (рис. 2.2).



Рис. 2.9. Паралельна схема.

Прикладом послідовного з'єднання елементів структурно-логічної схеми може бути технологічна схема комп'ютера, в якому відмова будь-якого елемента (блоку живлення, материнської плати, жорсткого диску та ін.) призводить до відмови всієї ТС (комп'ютера).

В цілому аналіз структурної надійності ТС[75], як правило, включає наступні операції:

- аналізуються пристрої та функції які виконуються системою і її складовими частинами, а також взаємозв'язок складових частин;
- формується зміст поняття “безвідмовної роботи” для даної конкретної системи;

- визначаються можливі відмови складових частин і системи, їхні причини і можливі наслідки;
- оцінюється вплив відмов складових частин системи на її працездатність;
- система розділяється на елементи, показники надійності яких відомі;
- складається структурно-логічна схема надійності технічної системи, що є моделлю її безвідмовної роботи;
- складаються розрахункові залежності для визначення показників надійності ТС із використанням даних по надійності її елементів і з урахуванням структурної схеми.

Залежно від поставленого завдання на підставі результатів розрахунку характеристик надійності ТС робляться висновки і приймаються рішення про необхідність зміни або доробки елементної бази, резервування окремих елементів або вузлів, про встановлення певного режиму профілактичного обслуговування, про номенклатуру і кількість запасних елементів для ремонту тощо.

Розрахунки показників безвідмовності ТС звичайно проводяться з припущенням, що як вся система, так і будь-який її елемент, можуть перебувати тільки в одному із двох можливих станів - працездатний і непрацездатний, і відмови елементів незалежні один від одного. Стан системи (працездатний або непрацездатний) визначається станом елементів і їхнім сполученням. Тому теоретично можливо розрахунок безвідмовності будь-якої ТС звести до перебору всіх можливих комбінацій станів елементів, визначенню ймовірності кожного з них і додаванню ймовірностей працездатних станів системи [76 77].

2.3. Вибір ефективного методу опису та моделювання виробничих систем

У методології моделювання виробничих процесів одним з головним елементів є зв'язки, які потрібні для взаємодії між об'єктами і операціями. До таких відносяться зв'язків між поточних даних та послідовності дій які виконуються у часі.

Після проведення аналізу, в попередньому розділі роботи, зрозуміло, що найбільш ефективним в даний час напрямом дослідження та аналізу в виробничих систем є використання дискретно-подієвого методу на основі імітаційного моделювання. Використання цього методу дозволяє в повній мірі провести дослідження імітаційного моделі виробничих систем.

Існують різноманітні засоби моделювання серед програм, що дозволяють проводити даний тип моделювання і можуть бути використані для опису ВС, виділяють: Plant Simulation [78], AnyLogic [79], GPSS World [80].

Аналіз даних систем буде включати п'ять параметрів: можливості використання графічної інтерфейсу, мови моделювання, застосування дискретно-подієвого проектування, розрахунок часу моделювання, ієрархічним поданням моделі процесу, Порівняння характеристик засобів імітаційного моделювання наведено в таблиці 2.1.

На сьогоднішній день, засоби імітаційного моделювання AnyLogic і GPSS World мають гарний апарат опису ВС. В цих системах моделювання в якості засобів описання використовуються різноманітні математичні апарати на зразок систем масового обслуговування, мереж Петрі, структурно-логічний метод, які мають гарний рівень дискретно-подієвих систем, які дозволяють проводити аналітичне дослідження моделей та можливість побудови алгоритму

дій. Продукт Plant Simulation, Дозволяє створити ієрархічні модель систем Петрі, за допомогою графічного редактора системи.

Таблиця 2.1. Порівняльна характеристика засобів імітаційного моделювання

Характеристики	Plant Simulation	AnyLogic	GPSS World
Використання графічної елементів моделей	Так	Так	Ні
Мова моделювання	SimTalk	Java	GPSS
Дискретно-подієве проектування	Так	Так	Ні
Розрахунок часу моделювання	Так	Так	Так
Ієрархічне представлення моделі процесу	Так	Так	Ні

Система імітаційного моделювання (ІМ) Plant Simulation має такі переваги: висока гнучкість вибору підходу до ІМ, можливість вибору комплексного підходу. Даний продукт має багато властивостей, щоб проводити імітаційне моделювання виробничих систем.

Plant Simulation є одним з найбільш розповсюджених середовищ ІМ у європейському та американського ринку та застосовується в основному у приладо- та машинобудівній галузі, що дає можливість використовувати дану систему у магістерській дисертації.

Висновки до розділу

Аналізуючи сучасні технології моделювання показує, що найбільш продуктивною та економною є технологія імітаційного моделювання, вона дозволяє створювати структури моделей виробничих процесів, які подібні за властивостями, змінювати вхідні параметри і побудову самих моделей не вимагає великих фінансових та часових затрат, бо процес проведення моделювання є простим та наочним.

Аналізуючи сучасний стан методів моделювання ВС дозволяє виділити дискретно-подієвий метод який більш всього придатний для опису об'єктів у приладобудуванні, що на даний момент є найбільш перспективним і ефективним напрямком.

Аналізуючи сучасні засоби імітаційного моделювання показує, що такі засоби опису виробничих процесів як AnyLogic і GPSS World в якості засобів опису моделі дані системи мають дещо нагромаджені системи математичного апарату. Система Plant Simulation, навпаки, дозволяє описувати ВС за допомогою ієрархічних мереж Петрі, що являється найбільш зручним інструментом для виконання поставлених задач магістерської роботи.

Система Plant Simulation дає можливість побудувати імітаційні моделі роботи ділень виготовлення деталей та ліній складання виробів шляхом імітації всіх елементів технологічних процесів ще до початку запуску їх в реальне виробництво.

РОЗДІЛ 3.

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ PLANT SIMULATION ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

3.1. Система Plant Simlation та особливості її застосування

В 1986 р. Німецька науково-дослідницька організація ім. Фраунгофера IPA розробляє об'єктно-орієнтовану, ієрархічну програму імітаційного моделювання з застосуванням програмного забезпечення C ++ для Apple Macintosh під назвою SIMPLE Mac для Apple Macintosh [81]. В 1991 році компанія AIS отримала назву AESOP (Angewande EDV-Systeme), яка була створена компанією AIS (система управління інформацією), в якій був створений продукт SIMPLE ++ (Симуляція в продуктах логістики та проектування - симуляція у виробничій логістиці та проектування). Вперше в 2005 році компанія TECNOMATIX була поглинена компанією UGS_Corp., і отримала статус окремого підрозділу. В 2000 році продукція SIMPLE ++ була перейменована в eM-Plant в рамках корпоративного ребрендингу. Через рік продукт eM-Plant був перейменований і стала називатися Tecnomatix Plant Simulation Tool. У січні 2007 року компанія UGS була придбана концерном Siemens AG. З цього моментом постачанням і підтримкою Рішеннями Tecnomatix здійснюються компанія Siemens PLM Software, ЯКА в складі увійшов підрозділ відділу Siemens Industry Automation.

На сьогодні пакет eM-Plant активно використовує кілька сотень підприємств, розташованих переважно на європейському континенті. В зокрема, роботи з використанням пакета eM-Plant постійно виконуються в усіх автомобільних будівельних концермах Німеччини [81].

Набір рішень Tecnomatix з розширеними можливостями в новій версії забезпечує ефективну взаємодію і підвищує продуктивність праці технологів, допомагаючи підприємствам швидше здійснювати вивід виробу на ринок.

Tecnomatix використовує систему Teamcenter® – рішення від Siemens PLM Software з управління життєвим циклом виробу – в якості єдиної платформи для технологічного проектування на всіх етапах: від розробки технологічного процесу - до його імітаційного моделювання і документування. Розширені можливості Tecnomatix 9 забезпечують повторне використання типових проектних рішень і стандартизацію, а також надають інструменти управління такими складними процесами, як, наприклад, проведення змін. Нова функціональність підвищує продуктивність на етапі підготовки виробництва і дозволяє технологам виконувати більший обсяг робіт, залучаючи меншу кількість ресурсів [82].

Tecnomatix 9 допомагає підвищити продуктивність за допомогою нових функцій автоматизації завдань підготовки виробництва. Один з нових інструментів забезпечує швидке створення і оцінку різних послідовностей збирання та розбирання виробу, що оптимізує проектну процедуру і дозволяє заощадити час на розробку документації техпроцесу. Перехід на більш високий рівень опису завдань при управлінні діями вбудованого цифрового манекена людини Jack в тривимірній віртуальній середовищі - ще одна перевага Tecnomatix. Це дозволяє значно скоротити час на симуляцію, дозволяючи розглянути багато сценаріїв типу «що, якщо ...» з імітацією діяльності людини в умовах виробництва або ремонту виробу.

У Tecnomatix 9 включений ряд нововведень для підвищення продуктивності підготовки виробництва і зручності використання системи. З'явилася нова бібліотека засобів технологічного оснащення. Тепер Tecnomatix забезпечує тісну інтеграцію з Teamcenter і надійний обмін технологічними даними між додатками Tecnomatix і PLM-ядром Teamcenter PLM.

Тесnomatix 9 зближує процеси підготовки виробництва і виготовлення виробів, скорочуючи розрив між віртуальним поданням і реальністю. Тесnomatix 9 включає в себе рішення для розмірного контролю деталей Dimensional Planning & Validation (DPV). DPV дозволяє фіксувати великі обсяги виконуваних в цехах вимірювань реальних деталей і управляти ними в середовищі Teamcenter. Конструктори і технологи зможуть застосовувати потужні функції пошуку і аналізу для порівняння даних за якістю виробів, що випускаються на різних заводах, і оптимізації виробів і виробничих процесів [82].

За допомогою рішення Тесnomatix ми успішно впровадили в компанії повністю інтегрована система автоматизованої підготовки виробництва. Ми маємо можливість повністю контролювати весь життєвий цикл виробу: від розробки конструкції і технології - до післяпродажної підтримки. В ході підготовки виробництва дані використовуються повторно, а технологи мають доступ до всієї документації технологічного процесу, верстата або технологічної системи

Крім автоматизації процесів підготовки виробництва, Тесnomatix 9 представляє ряд нових функцій та можливостей, спрямованих на підвищення продуктивності на етапі виготовлення виробів. Нова функціональність підсилює позиції Тесnomatix як засобів оптимізації технологічних процесів за допомогою інструментів, що підвищують продуктивність існуючих і сприяють введенню нових ліній [83].

Тесnomatix 9 пропонує ряд нових можливостей в області управління промисловими роботами, включаючи нову функцію автоматичної генерації траєкторій, яка спрощує оффлайнове програмування роботів. Встроєна в Тесnomatix функція віртуального моделювання виробництва дозволяє перевірити програми PLC-контролерів на віртуальних виробничих лініях, що різко скорочує терміни пуско-налагоджувальних робіт у цехах. Стандартні

бібліотеки інтелектуальних вузлів значно скорочують час створення віртуальних моделей виробничого середовища та опис логіки їх роботи з нуля.

Віртуальне виробництво дає реальні та чуттєві переваги при вирішенні найважливішої виробничої задачі: швидке виведення конкурентоспроможного товару на ринок. В новий випуск Tecnomatix 9 компанія Siemens PLM Software продовжує реалізовувати єдиний підхід до PLM і цифровому виробництву, що відповідає потребам клієнтів. Технологія цифрового виробництва Tecnomatix швидко окупає витрати і приносить реальну прибуток.

Tecnomatix 9 допомагає підвищувати продуктивність у різних областях, включаючи розробку планувань цехів та оптимізацію задіяного устаткування космосу, управління виконуваними вручну технологічними процесами та контролю матеріальних потоків.

Реалістичні цифрові манекени підвищують якість оцінювання ергономіки та допомагають в ранніх стадіях виявляти і усунути виникаючі проблеми.

Нові засоби тимчасової аналізу допомагають виявляти продуктивні та непродуктивні операції.

Більш тісна інтеграція між Teamcenter і рішенням FactoryCAD® в Tecnomatix покращує управління даними про технологічне середовище підприємства та їх спільне використання.

Багато покращень в додаток модуляції Plant Tecnomatix допомагають скоротити необхідні ресурси, виявити потенційні «вузькі місця», оптимізувати матеріальні потоки, а також швидко моделювати найсуворіші технологічні системи.

Прикладні програми для віртуального виробництва допомагають виявити різні труднощі ще до того, як вони стануть серйозними проблемами в цеху. Tecnomatix дає нам можливість надавати допомогу клієнтам у запобіганні численним проблемам, що призводять до відстані від графіки поставок і втрати

прибутку. Ми впевнені, що нові можливості Tescomatix 9 дозволять ще більше підвищити загальну продуктивність наших клієнтів .

У версії 10 реалізований інтерфейс обміну даними з PLM-системою Teamcenter, що дозволяє автоматизувати отримання вихідних даних для симуляції. З'явився інтерфейс SQLite. Додані спеціалізовані об'єкти для моделювання конвеєрних систем.

У версії 11 стався переклад ядра продукту на Юнікод, що зняло обмеження в застосуванні національних мов, аж до назви об'єктів і операторів в коді. В об'єктах матеріалопотока з'явився стандартний функціонал обліку енергоспоживання.

Починаючи з версії 12 стандартна бібліотека містить об'єкти для моделювання потоку рідин. Продукт отримав новий призначений для користувача інтерфейс з стрічковим меню. Як результат співпраці з компанією Bentley Systems, 3D-визуалізатор став підтримувати імпорт геометрії у вигляді хмари точок [84].

Версія 13 підтримує вбудовану мову програмування SimTalk 2.0 зі спрощеним синтаксисом і новими можливостями. Забезпечено сумісність з попередніми версіями, так як в моделі можна використовувати SimTalk 2.0 і 1.0 одночасно.

2.2. Опис складних систем засобами системи Plant Simulation

В дисертації [84] Пакет eM-Plant є стандартним програмним забезпеченням для вирішення завдань моделювання, імітації, анімації та оптимізації фізичних (матеріальних) процесів в самих різних виробничих і логістичних системах, а також бізнес-процесів в таких системах. При його розробці в повній мірі була реалізована концепція об'єктної орієнтації, що включає в себе ієрархічність, успадкування і поліморфізм. На цій базі був

створений зручний графічний інтерфейс розробника моделей, ефективний внутрішній мову програмування, а також кошти для інтеграції пакета в інформаційних системах, призначених для планування і управління виробничими і логістичними процесами.

Графічної формою представлення моделі є мережева структура, створювана, як правило, розробником моделі на базі стандартних об'єктів, що містяться в бібліотеці класів симулятора (Class Library). Зауваження «як правило» зроблено в зв'язку з тим, що в складі внутрішнього мови програмування SimTalk є засоби для автоматичної генерації моделей шляхом проведення діалогу з користувачем або на базі тексту готової специфікації моделі. У звичайному ж випадку розробник моделі виконує наступні дії:

- розробляє концептуальну модель системи і ескіз її мережевої структури «на папері»;
- вибирає статичні об'єкти (блоки) eM-Plant в бібліотеці класів і становить з них структуру реальної моделі на екрані комп'ютера;
- шляхом використання об'єктів типу Connector пов'язує між собою блоки моделі, призначені для обробки рухомих об'єктів, які в eM-Plant називають Moving Units (MUs);
- відкриває діалогове вікно кожного блоку моделі, при необхідності розширює список атрибутів блоку і вводить чисельні значення його параметрів і атрибутів (діалог може не проводитися для тих блоків, які є копіями вже попередньо «налаштованих» блоків);
- призначає формати даних для інформаційних блоків моделі (глобальних змінних, таблиць і списків) і при необхідності вводить в них вихідні дані;
- з використанням мови SimTalk створює об'єкти типу Method, тобто пише тексти своїх керівників програм та програм збору статистичних даних;

- з використанням мови SimTalk пише тексти програм для методів reset, init і endsim, які автоматично викликаються на відповідних стадіях прогону моделі;

- вводить до складу моделі блок EventController і при необхідності задає в ньому параметри прогону моделі (наприклад, швидкість моделювання і тривалість прогону);

- за допомогою діалогового вікна блоку EventController управляє прогонами моделі;

На рисунку 3.1 показана бібліотека об'єктів (класів) eM-Plant (версія 4.6), яка складається з трьох розділів:

Розділ MaterialFlow:

- об'єкти, що використовуються для створення моделі як цілісної структури: Connector, EventController, Frame, Interface;

статичні об'єкти (блоки), призначені для обробки рухомих об'єктів: Source, Drain, SingleProc, ParallelProc, Assembly, DismantleStation, Store, Buffer, Sorter, Line, Track, FlowControl, Broker, Exporter;

- рухомі об'єкти: Entity, Container, Transporter.

Розділ InformationFlow:

- об'єкти для підтримки програм розробника моделі: Method, Variable, Comment;

- списки і таблиці: TableFile, CardFile, StackFile, QueueFile, TimeSequence;

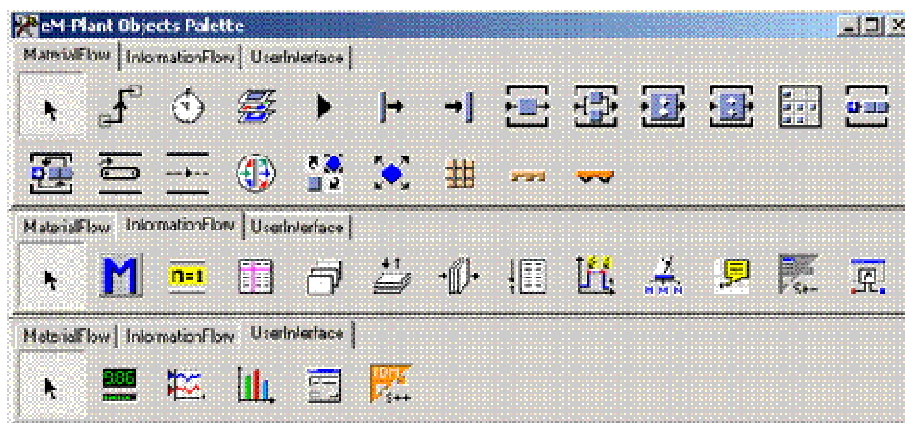
- засоби програмування регулярних подій: Trigger, Generator;

- засоби обміну даними з іншими програмами: FileInterface, FileLink.

розділ UserInterface:

- об'єкти для графічного відображення поточних даних і результатів моделювання: Gauge, Plotter, Chart;

– об'єкти для конструювання діалогів користувача: Dialog, IDMInterface.



- Рис. 3.1: Бібліотека об'єктів eM-Plant.

Основні об'єкти вказані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Класи об'єктів для моделювання виробничих систем

Назва класу	Приклади об'єктів реального світу або приклади використання в моделях
Динамічні об'єкти	
Entity	Одиниця вантажу, деталь, пасажир.
Container	Коробка, ящик, піддон, контейнер.
Transporter	Транспортний засіб або мобільний засіб переміщення вантажів.
Статистичні об'єкти	
Source	Вхідний потік вантажів, товарів, пасажирів або транспортних засобів. Потік заявок на виконання транспортних операцій.
Drain	Граничний об'єкт в структурі, через який динамічні об'єкти залишають модель.
SingleProc	Ресурс системи, призначений для одночасної обробки лише одного динамічного об'єкта: підйомний кран, ліфтовий підйомник, робот-маніпулятор, верстат, робоче місце.
ParallelProc	Ресурс системи, призначений для одночасної обробки декількох динамічних об'єктів: ділянка шляху з можливістю обгону,

	паралельно працюють квиткові каси.
--	------------------------------------

Продовження таблиці 3.1

Статистичні об'єкти	
Buffer	Черга, в якій динамічні об'єкти знаходяться в стані очікування і з якої вони можуть вийти самостійно при наявності можливості перейти в наступний блок.
Store	Місце зберігання динамічних об'єктів, залишати яке вони можуть тільки у відповідь на надходження відповідних команд.
Line	Ділянка конвеєрної системи транспортування вантажів, транспортер.
Track	Ділянка шляху, по якому премещаются об'єкти класу Transporter. Використовується як елемент транспортної системи з автоматичним пошуком маршрутів.
Assembly	Робоче місце, на якому відбувається об'єднання декількох динамічних об'єктів: місце складання виробів, пункт завантаження транспортних засобів.
DismantleStation	Робоче місце, на якому відбувається поділ динамічних об'єктів: місце розбирання виробів, пункт розвантаження транспортних засобів.

Будь який пов'язаний фрагмент вихідної мережевої моделі може розглядатися як «Підмодель», тобто як модель більш низького рівня ієрархії. Цей фрагмент може бути замінений на один новий об'єкт в структурі вихідної мережевої моделі. У нового об'єкта повинні бути збережені всі вхідні і вихідні зв'язки, які з'єднували замінний фрагмент з іншими блоками вихідної моделі. Новий об'єкт створюється на базі бібліотечного об'єкта типу Frame, який є графічним вікном, призначеним для створення мережевої моделі. У цьому сенсі

будь-яка розміщена в межах одного графічного вікна мережева модель симулятора eM-Plant є об'єктом типу Frame. Таким чином, шляхом виконання звичайних операцій Copy & Paste фрагмент вихідної моделі може бути розміщений в новому (порожньому) вікні типу Frame, якому дається при цьому довільне ім'я. Цей новий об'єкт автоматично з'являється в складі бібліотеки об'єктів симулятора. В першу чергу одну його реалізацію поміщають, звичайно, в структуру вихідної моделі, видаляючи при цьому замінюється фрагмент. Починаючи з цього моменту структура вихідної моделі стає ієрархічною, так як в ній знаходиться об'єкт типу Frame, який представляє з себе самостійну структуру. Кількість рівнів ієрархії не обмежена, тобто будь-який об'єкт типу Frame може мати в своїй структурі інші об'єкти типу Frame.

В описаному прикладі новий бібліотечний об'єкт виникає в результаті укрупнення якоїсь вихідної структури моделі. Звичайно, такі об'єкти розробник моделі може конструювати ще й до існування загальної структури моделі, яку згодом можна буде створити саме на базі заздалегідь підготовлених бібліотечних об'єктів типу Frame. Власну бібліотеку об'єктів типу Frame розробник моделі може розвивати так, як він вважає за потрібне. Він може створювати копії або нові покоління об'єктів, розширювати або модифікувати ці об'єкти з орієнтацією на застосування в нових моделях.

Анімація процесів в eM-Plant може бути виконана на трьох якісно різних рівнях:

- відображення дискретних позицій рухомих об'єктів на тлі мережевої структури моделі (стандартна 2D-анімація, яка не вимагає ніяких зусиль від розробника моделі)
- відображення безперервного руху об'єктів на тлі довільного графічного двовимірного зображення моделі (2D-анімація, яка може бути створена засобами вбудованого графічного редактора eM-Plant)

- реалістичне відображення руху об'єктів моделі в тривимірному просторі (3D-анімація, яка може бути створена за допомогою бібліотеки тривимірних об'єктів, пропонованої 3D-компонентом самого пакету eM-Plant, або за допомогою бібліотек типу OpenGL Optimizer).

3.3. Моделювання динаміки роботи виробничих систем за допомогою системи Plant Simulation

У [86] наведено послідовність використання програми Plant Simulation для моделювання складних систем. Початок створення моделі здійснюється запуском: *Plant Simulation*: Пуск -> «Все программы» -> *Plant Simulation*, у вікні, що відкриється, створюємо нову модель: *File* -> *New Model*, або переходимо на вкладку стартової сторінки *Create New Model* (рис 3.2).

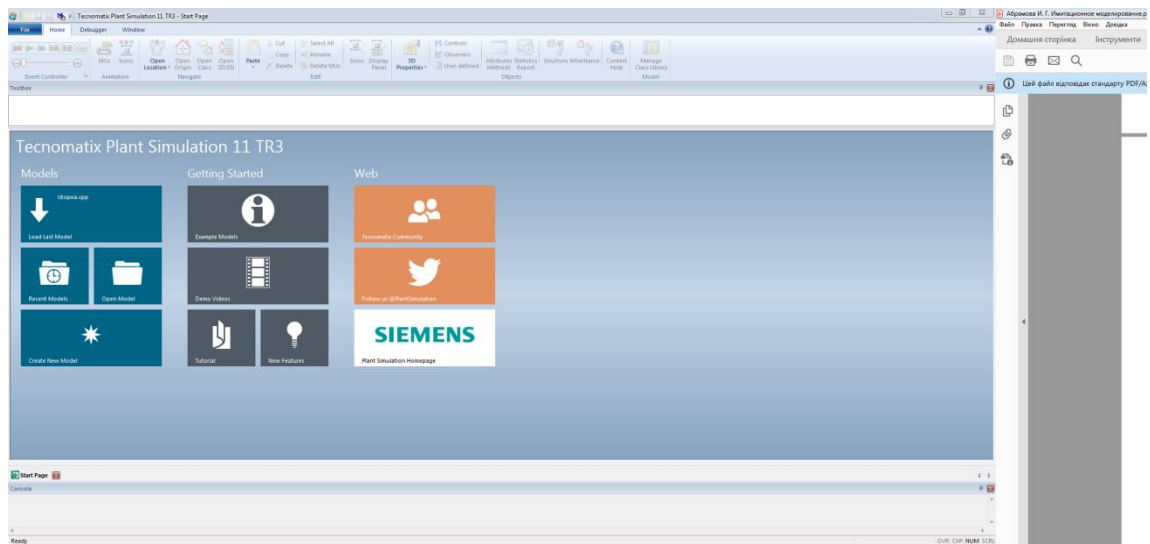


Рис. 3.2. Стартова сторінка.

Файл містить Class Library (бібліотеку стандартних 2D елементів) і 3D Library (бібліотеку елементів для побудови 3D моделі).

Вибираємо базові об'єкти матеріального потоку Basic Objects (рис. 3.3), вибираємо всі об'єкти матеріального потоку – Material Flow, тому що вони є необхідними базовими елементами для побудови моделі.

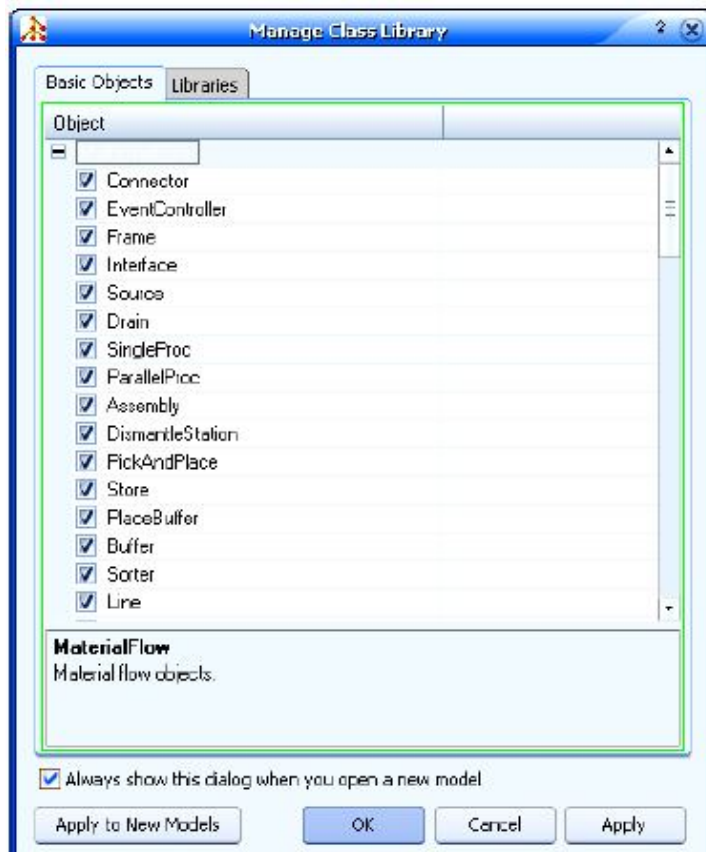


Рис. 3.3 Об'єкт матеріального потоку

Apply -> OK. Вікно для створення нової моделі наведено на (рис. 3.4).

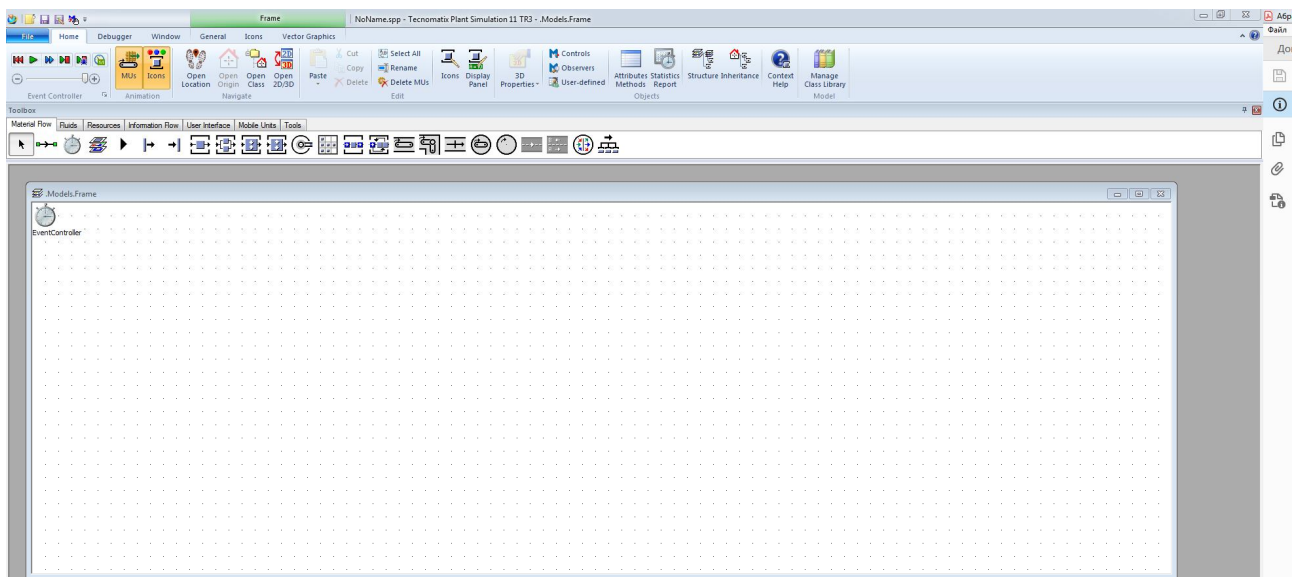



Рис. 3.4. Основне вікно Plant Simulation.

Схема обробки деталей створюється за допомогою панелі інструментів Toolbox, використовуючи вкладку Material Flow.

Для додавання об'єкта вибираємо необхідний об'єкт, встановлюємо курсор миши в те положення, в яке необхідно вставити дані елементи.


У модель додаємо наступні елементи:

– Source: Toolbox -> Material Flow -> ;

– Drain: Toolbox -> Material Flow -> ,

які позначають вхідний потік вантажів, товарів, пасажирів або транспортних засобів, потік заявок на виконання транспортних операцій і граничний об'єкт в структурі, через який динамічні об'єкти залишають модель, відповідно.

Далі додаємо до схеми необхідний набір моделей обладнання в 2D або 3D (відповідно до завдання):

– Single Proc: Toolbox -> Material Flow -> ,

– встановимо зв'язок між об'єктами: Connector: Toolbox -> Material Flow ->



Натиснувши Ctrl, клацанням лівої кнопки миші встановлюємо зв'язки між елементами (рис. 3.5).

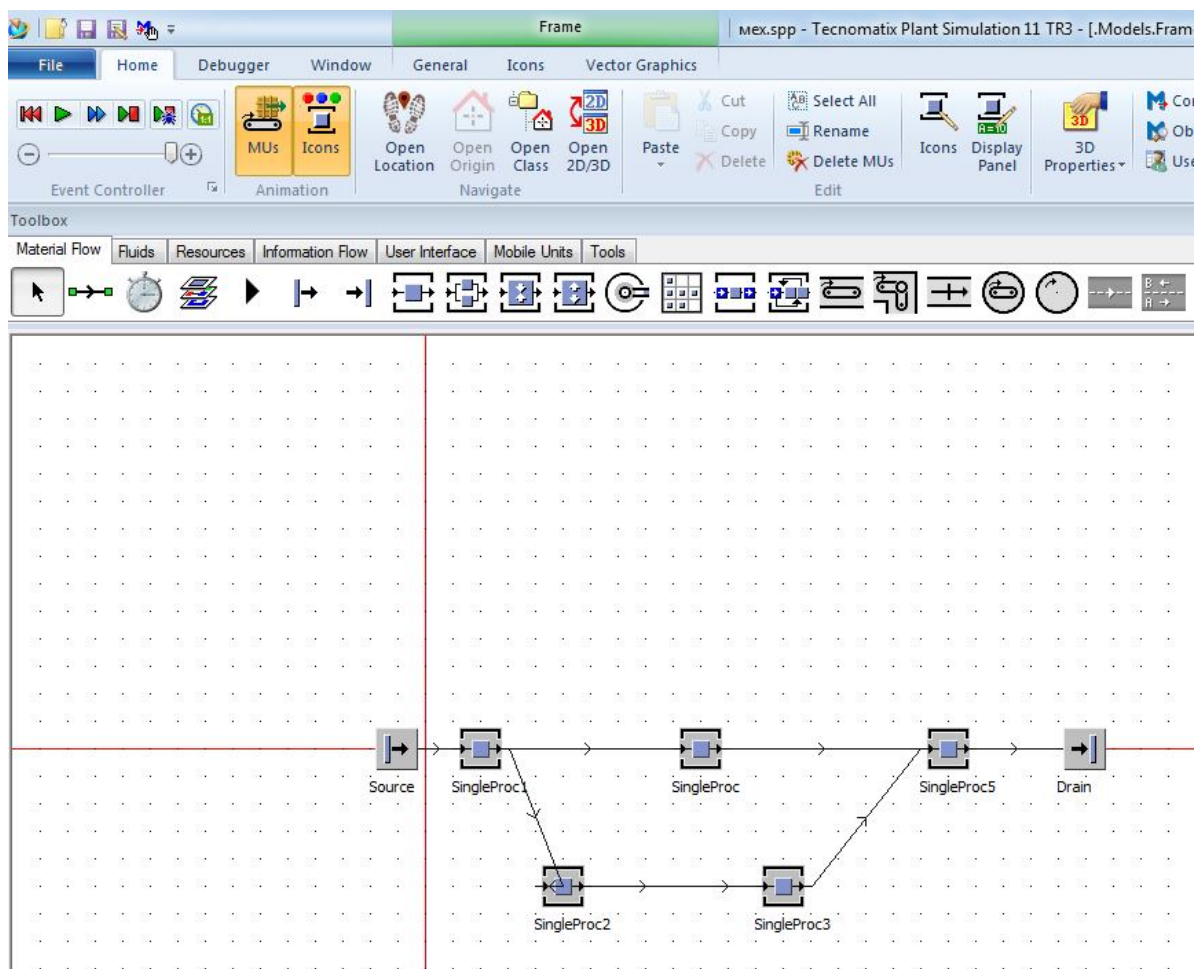


Рис. 3.5. Встановлення зв'язків між об'єктами.

Отримати статистичні результати моделювання можна шляхом натискання кнопки Start / Stop. (рис. 3.6).

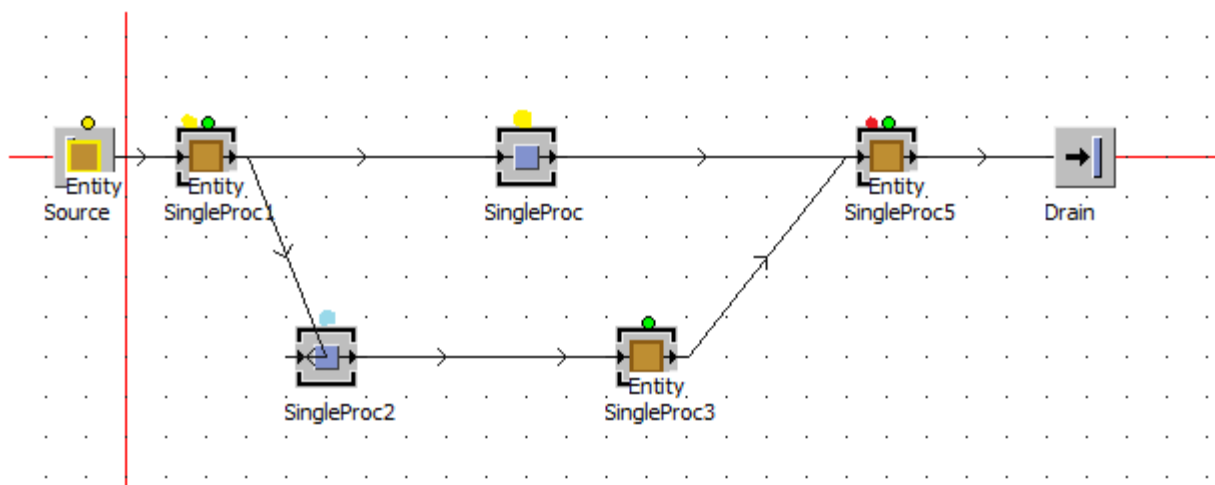


Рис. 3.6 Огляд статусу об'єктів після зупинки процесу, що моделюється.

При моделюванні об'єкти матеріального потоку мають певний статус, який відображається над елементами точками:

Червона точка представляє дефектні об'єкти, синя – перерви в роботі, зелена – об'єкт знаходиться в роботі, жовта – об'єкт заблокований;

Після завершення виробничого циклу з'являється можливість оцінити ефективність використання обладнання і робочих. Для цього подвійним клацанням по робочому полю або по верстату відкриваємо діалогове вікно і заходимо на вкладку Statistics (рис. 3.7).

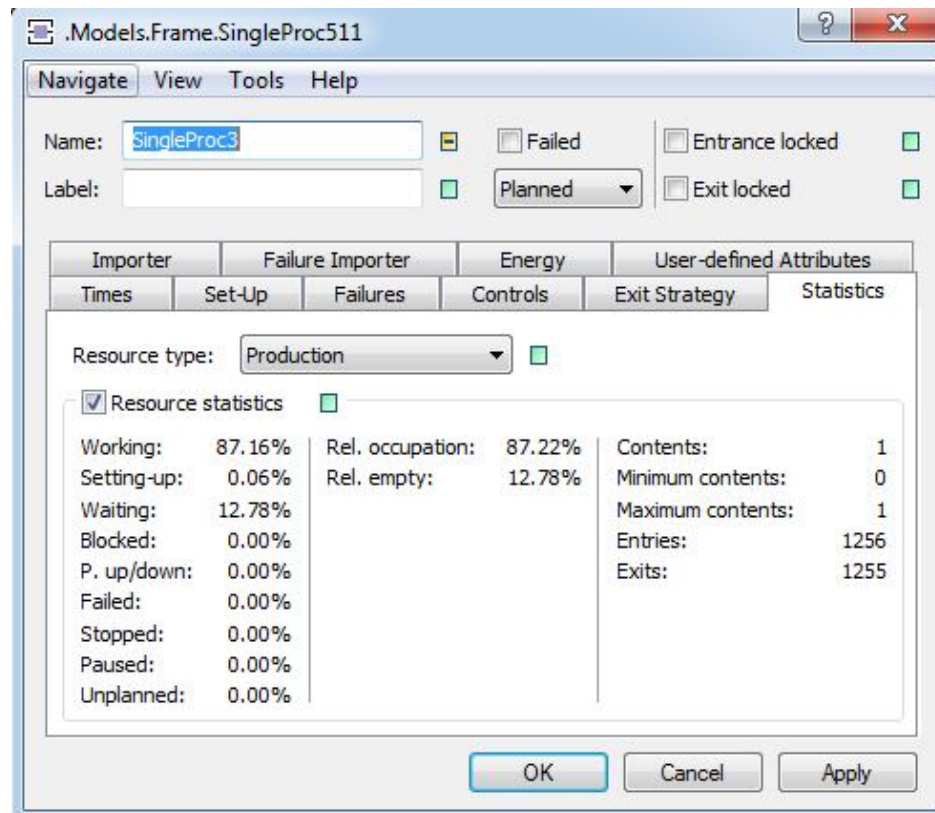


Рис.3.7. Вікно з результатами оцінки ефективності використання обладнання.

Для отримання значень, що характеризують об'єкт клацаємо двічі на будь-який з об'єктів процесу і на екрані з'явиться діалогове вікно (рис. 3.8).

У вкладках можуть бути задані:

–час обробки, час виконання операції - Processing time;

- час на установку - Set-up time;
- час відновлення - Recovery time;
- час циклу - Cycle time.

Для кожного з об'єктів можна задати свої характеристики, відповідно до технологічного процесу і нормативних даних, в якому вказується час обробки на кожному конкретному верстаті. Також можливо створити окремий файл с технологічним процесом, якщо в імітаційному моделі використовується нелінійна виробнича система, що буде далі показано у магістерській дисертації.

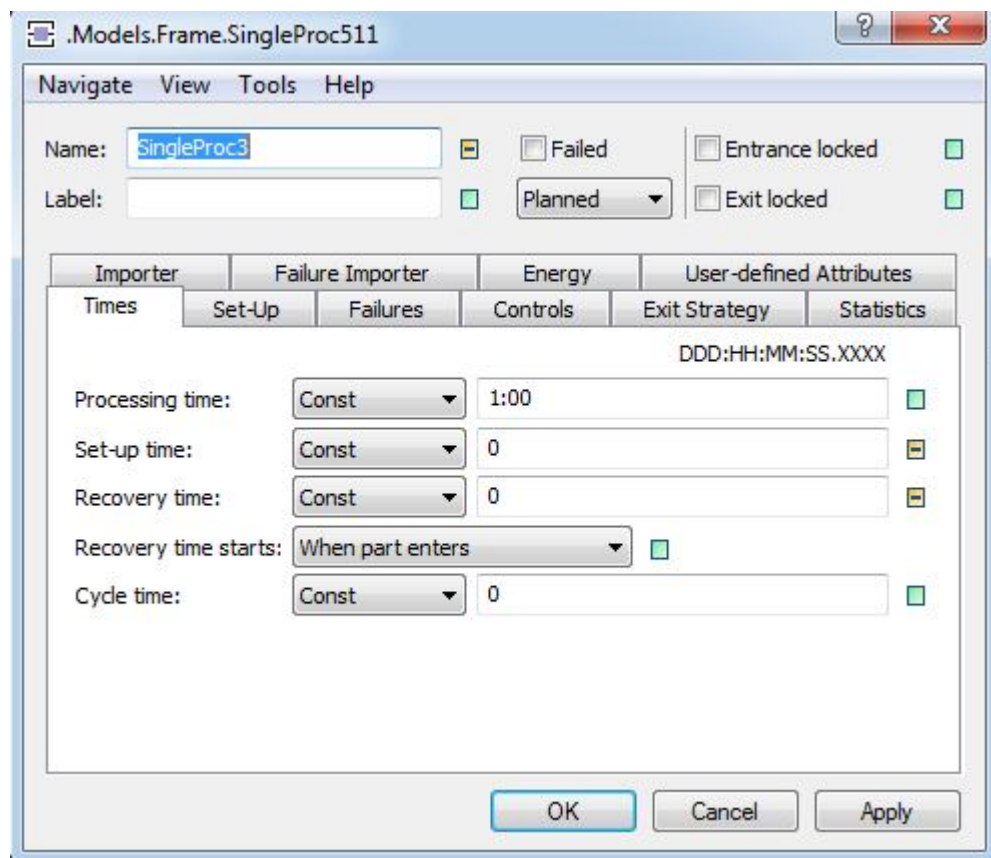


Рис.3.8. Оцінка ефективності обладнання.

Для простоти візьмемо час обробки на кожному з об'єктів, що дорівнює 1. Однак в реальному виробництві даний час може коливатися в широкому діапазоні.

Також можна задати завантаженість об'єкта в% . Наприклад, як в нашому випадку: 95%. Для цього для характеристики Availability задамо значення 95 і MTTR .

Змінюючи ці параметри, можна домогтися різних вихідних характеристик.

Додамо такий об'єкт, який дозволить наочно визначити вузьке місце на нашому виробництві (рис.3.9). Таким об'єктом є – Bottleneck Analyzer: Toolbox-> Tool-> Bottleneck Analyzer.

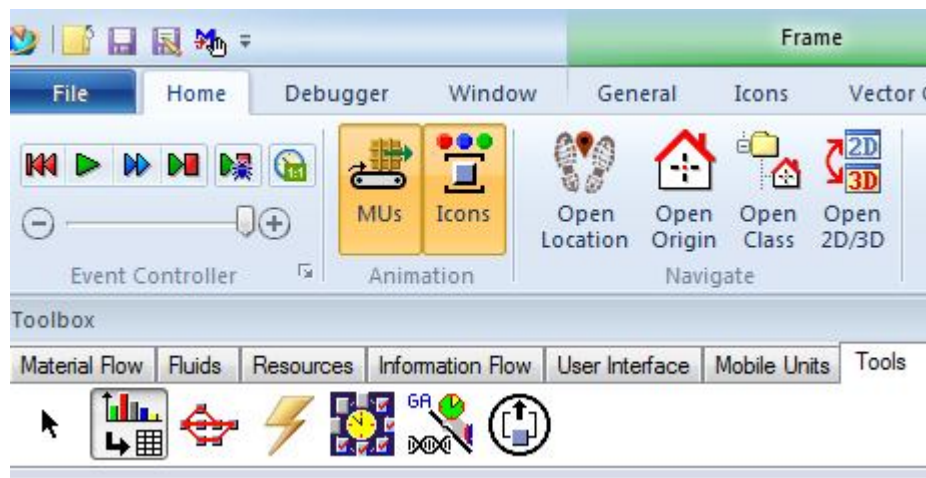


Рис.3.9. Додавання Bottleneck Analyzer.

Для того, щоб наочно побачити принцип роботи Bottleneck Analyzer, необхідно: Натиснемо правою кнопкою миші по Bottleneck Analyzer-> Analyze (рис. 3.10).

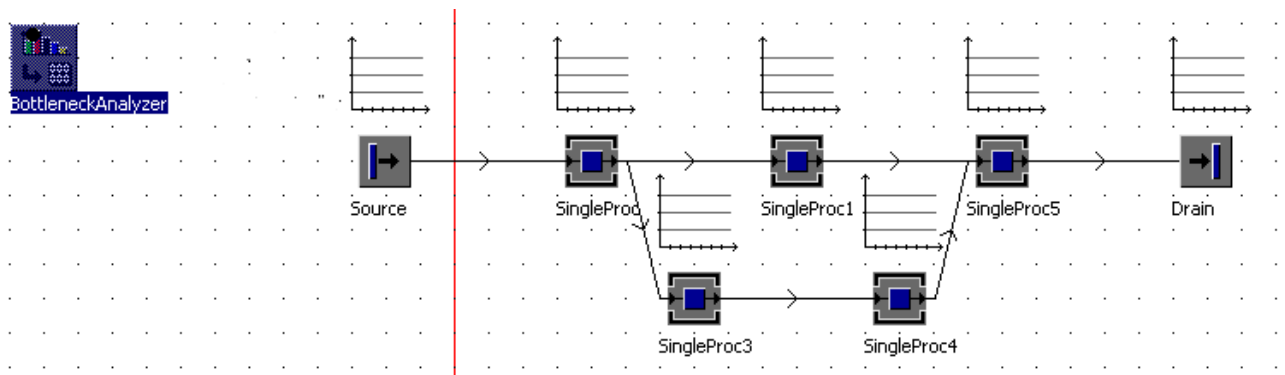


Рис. 3.10. Застосування функції Analyze.

Далі проаналізуємо роботу кожного об'єкта за допомогою візуалізації процесу. Для цього – використовують натискання кнопки Start / Stop (рис. 3.11).

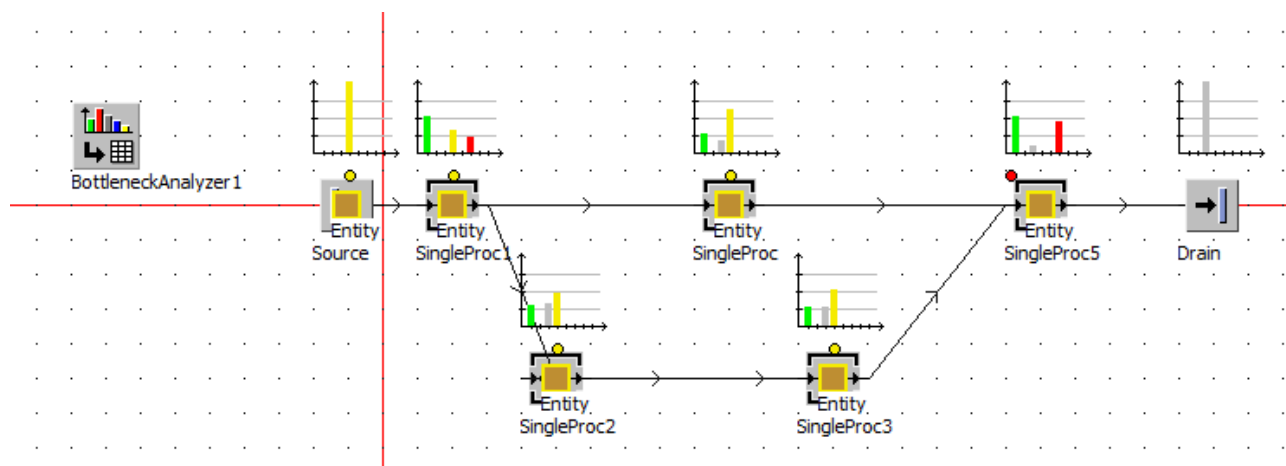


Рисунок 3.11 .Результати візуалізації виробничого процесу.

Аналіз результатів показав, що найвужчим місцем є об'єкт SingleProc5. Для усунення даного недоліку необхідно, наприклад, поставити накопичувачі або спробувати змінити зв'язок між об'єктами, тобто скорегувати технологічний процес.

Висновки до розділу

За результатами опису системи імітаційного моделювання засобами системи Plant Simulation та демонстрації її функцій на прикладі механічного цеху можливо зробити такі висновки:

- система Plant Simulation використовується в основному лише для приладо- та машинобудування, що дає їй переваги над іншими системами тому, що в ній використанні функції лише для цих двох галузях виробництва. Її можливо використовувати лише у технічних спеціальностях;

- система Plant Simulation є інструментом імітаційного моделювання, що розроблений на основі сучасних концепцій в області інформаційних технологій

та результатом дослідження об'єктно-орієнтованого моделювання, яка дозволяє побачити процеси, які проходять під час імітації за допомогою анімації та їх візуального представлення, а також врахувати дискретні події, які є характерними для приладобудування;

– моделювання складних систем засобами Plant Simulation передбачає два етапи його застосування – розробка моделі та її аналіз шляхом проведення комп'ютерного експерименту. Це дає можливість вибрати найкращі параметри досліджуваного процесу;

– наведений приклад роботи динамічних систем шляхом моделювання процесу виготовлення деталі показав ефективність застосування системи Plant Simulation для моделювання складних виробничих систем в приладобудуванні.

РОЗДІЛ 4.

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ТА СИСТЕМИ
ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ В
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

4.1 Моделювання та оптимізація роботи обладнання ділянки механічного
цеху

За допомогою системи Plant Simulation розв'язано задачу оптимізації роботи технологічної системи при механічній обробці деталі «ротор» [91].

Початковими даними для розв'язання цієї задачі є технологічний процес виготовлення деталі з вказаним часом виконання кожної операції надано в таблиці 4.1, а види використовуваного обладнання, що застосовуються при цьому, наведено в Додатку Д.

Таблиця 4.1 Перелік операцій технологічного процесу складання газового датчика

№ п/п	Назва операції	Штучний час виконання операції
005	Заготівельна	1хв
010	Токарна з ЧПК	1.1хв
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК	2.8хв
020	Токарна з ЧПК	1.04хв
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК	0.5хв
030	Токарна з ЧПК	1.34хв
035	Вертикально-фрезерна з ЧПК	1.37хв
040	Токарна з ЧПК	0.7хв
045	Вертикально-свердлильна з ЧПК	0.43хв
050	Контрольна	2хв

Початок роботи виконується запуском програми запуск: *Plant Simulation*:
Пуск -> Все програми -> *Plant Simulation*, у відкритому вікні створюємо нову модель: *File -> New Model*. або переходимо у вкладку стартової сторінки *Create New Model*. Нову модель введено «*Виготовлення Ротору*».

Після створення нової моделі ми будемо динамічну мережу Петрі, яка буде отриманою математичною моделлю, яка наведена на рисунку 4.1

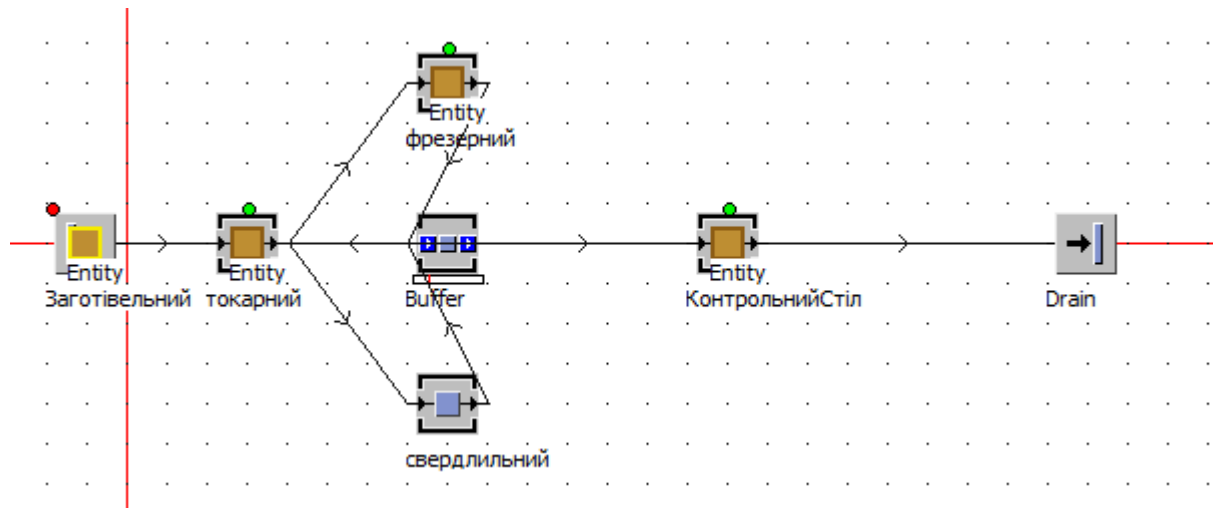


Рис. 4.1 Графічне 2-D представлення ділянки цеху при механічному обробленні деталі «ротор».

На об'єкті Заготівельний (Drain) встановлюємо кількість оброблюваних деталей, у рядку Time of creation, вибираємо замість Interval Adjustable, Number Adjustable у рядку Amount ставимо 100 (рис. 4.2).

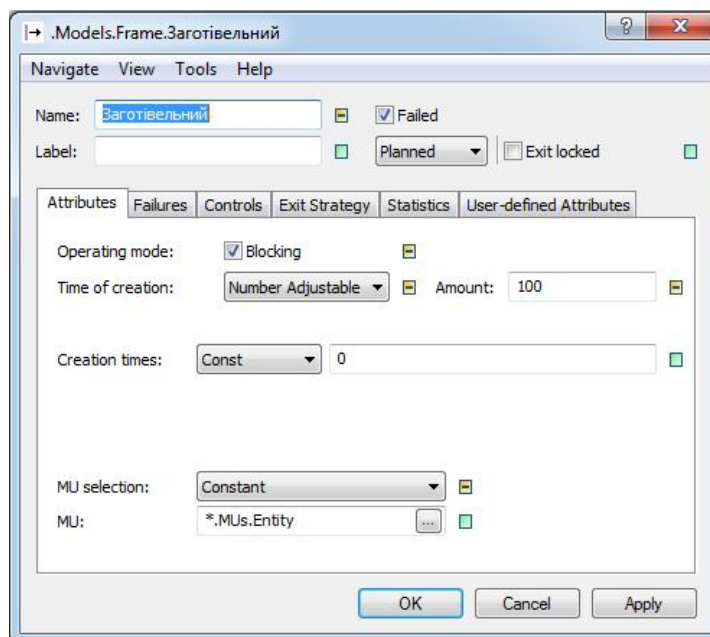


Рис 4.2.Вікно встановлення кількості оброблюваних деталей.

За допомогою блоку Table File, заповнюємо наш технологічний процес у програму моделювання згідно з рисунком 4.3.

	string 1	string 2	time 3	object 4
string				
1	005	Заротівельна	3.0000	.MUs.Заротівельний
2	010	Токарна	1.1000	.MUs.токарний
3	015	Фрезерна	2.1800	.MUs.фрезерний
4	020	Токарна	1.0400	.MUs.токарний
5	025	Свердлильна	0.5000	.MUs.свердлильний
6	030	Токарна	1.3420	.MUs.токарний
7	035	Фрезерна	1.3770	.MUs.фрезерний
8	040	Токарна	0.7050	.MUs.токарний
9	045	Свердлильна	1.3000	.MUs.свердлильний
10	050	Контрольна	5.0000	.MUs.КонтрольнийСтіл

Рис 4.3 Вікно введення технологічного процесу.

Після введення технологічного процесу у блок Material Table, створюється блок Method, який буде відповідати за проходження операцій. У ньому за допомогою мови SimTalk 1.0 створена програма, що наведена у додатку Б.

За допомогою блоки Chart можна отримати статистику ресурсів (рис. 4.4).

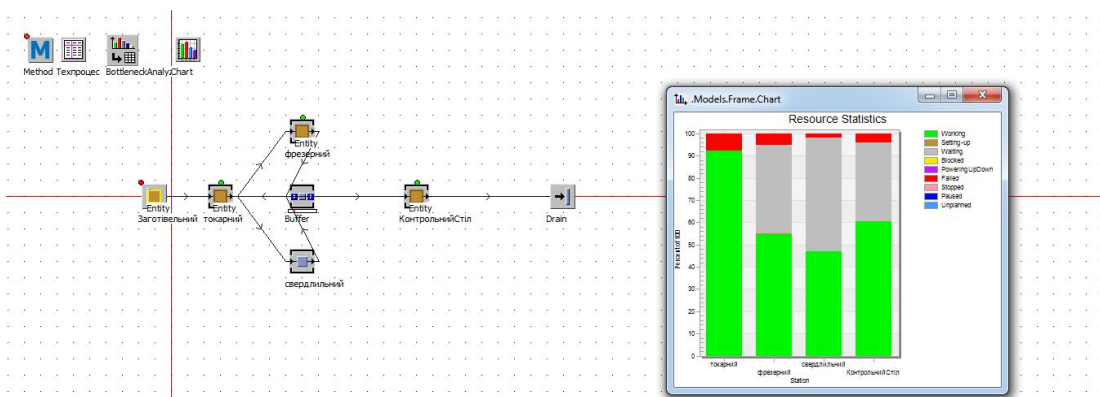


Рис. 4.4. Графічне 2-D представлення ділянки цеху при механічному обробленні деталі «корпус».

Представлена модель імітаційного моделювання механічної обробки ротора надає результати виконання кількості повної обробки ротора за годину, а також відомості про кількість готових виробів за проведений експеримент.

Після проведення модельного експерименту з обробки 100 роторів отримано наступні результати: коефіцієнт завантаження обладнання, на токарному верстаті досягає 90%, на фрезерному 55%, свердлильному 45%, та контрольному столі 60%, що позначено на діаграмі зеленим кольором.

Встановлено, що простій токарного верстата складає 5%, фрезерного – досягає 40%, свердлильного – 55% , а робочого місця контролера – 35%. Це позначено сірим кольором на діаграмі. Це свідчить про значні простой використовуваного обладнання. Вказані результати наведено на статистичній діаграмі ресурсів (рис. 4.4).

Кількість оброблених роторів за годину складає 4 шт., кількість виготовленої продукції 105, бо 5 деталей це брак (рис. 4.5).

Cumulated Statistics of the Parts which the Drain Deleted							
Object Name	Mean Life Time	Throughput	TPH	Production	Transport	Storage	Value added
Drain Entity	54:16.5282	105	4	99.56%	0.00%	0.44%	69.14%

Рис.4.5 Результати моделювання роботи ділянки механічного цеху.

Також можливо представлення ділянки цеху у 3D (рис. 4.6).

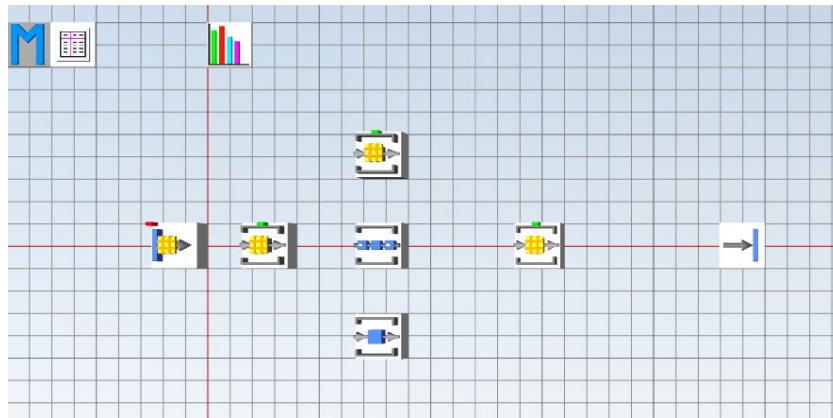


Рис. 4.6. Графічне 3-D представлення ділянки цеху при механічному обробленні деталі «ротор».

Проведення експерименту даної моделі по обробці роторів показало, що на робочих позиціях, де виконуються токарна операції виникає черга, у зв'язку з великою кількістю даних операцій на цих позиціях згідно з технологічним процесом.

Для збільшення темпу виготовлення, підвищення продуктивності процесу виготовлення деталей та оптимізації роботи обладнання пропонується змінити кількість використовуваних робочих місць, а саме: збільшити кількість обладнання, токарній операції до 2 (рис.4.7).

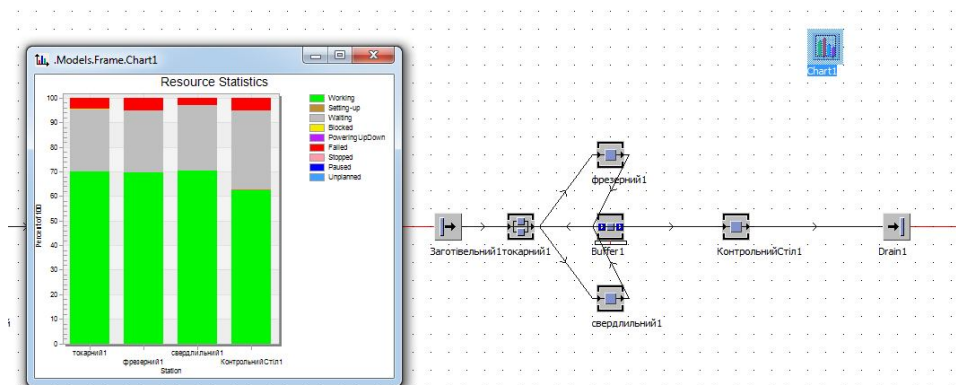


Рис4.7. Графічне 2-D представлення ділянки цеху при механічному обробленні деталі «ротор» з двома токарними верстатами.

Після проведення модельного експерименту з обробки 100 роторів, отримано наступні результати: коефіцієнт завантаження обладнання на токарному верстаті досягає 70%, на фрезерному 68%, свердлильному 68%, та контрольному столі 65%, що позначено на діаграмі зеленим кольором.

Встановлено, що простій токарного верстата складає 25 %, фрезерного – досягає 25%, свердлильного – 25% , а робочого місця контролера – 35%. Це позначено сірим кольором на діаграмі. На рисунку 4.6. показано рівномірне використання усіх станків

Кількість оброблених роторів за годину складає 6 шт., кількість виготовленої продукції 105, бо 5 деталей це брак. (рис. 4.8).

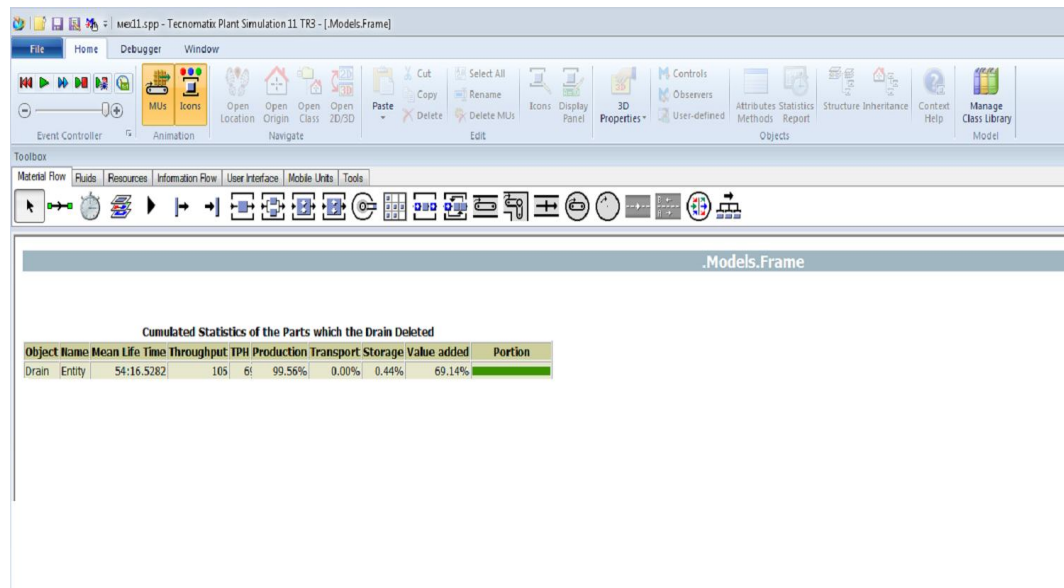


Рис.4.8. Результати моделювання процесу обробки 100 роторів.

Аналіз отриманих результати проведеного експерименту показав, що запропонована зміна кількості використовуваного обладнання значно підвищує ефективність технологічного процесу шляхом збільшення кількості готової

продукції за годину з коефіцієнту 4 до 6 що є перевагою процесу технологічного процесу і може бути враховано при створенні реальної лінії виготовлення роторів і подальшого його реалізації в умовах мінімальних витрат на використання обладнання .

4.2 Моделювання та оптимізація роботи обладнання ділянки складального цеху

За допомогою системи Plant Simulation було розв'язано задачу оптимізації роботи оптимізації роботи виробничої системи процесу складання газового датчика [91]. . Початковими даними є технологічний процес виготовлення деталі з вказаним часом виконання за допомогою програми є технологічний процес з вказаним часом на виконання складальних операцій (таблиця 4.2).

Відповідно до ТСС та ССС (рисунок 4.9, 4.10) виділимо три рівня складальних операцій:

1. «Складання Корпус СК», «Складання кришки СК», «Складання Каркас СК»;
2. «Складання Стійки СК», «Складання Втулки СК»;
3. «Складання Датчика СК».

За обладнання було обрано три роботи маніпулятори серії LR Mate виробництва KUKA.

Таблиця 4.2. Перелік операцій складання газового датчика

№ п/п	Назва операції	Штучний час виконання операції
1	2	3
005	Підготовча	1.01хв
010	Комплектувальна	1.04хв
015	Промивка	2.18хв
020	Сушка	1.37хв
025	Складання Стійки СК	2.53хв
030	Складання Корпусу СК	3.74хв
035	Складання Кришки СК	4.01хв
040	Складання Каркасу СК	1.01хв
045	Складання Втулки СК	4.73хв
050	Складання Датчик СК	2.31хв
055	Контрольна	5хв
060	Маркування	1.34хв
065	Упакування	4хв
070	Випробувальна	2.03хв

Початок роботи виконується запуском програми запуск: *Plant Simulation*: Пуск -> Все программы -> *Plant Simulation*, у відкритому вікні створюємо нову модель: *File -> New Model*. Або переходимо у вкладку стартової сторінки *Create New Model*. Новая модель введено «Складання газового датчика».

Після створення нової моделі ми будуємо динамічну мережу Петрі, яка буде нашою математичною моделлю, яка наведена на рисунку 4.11

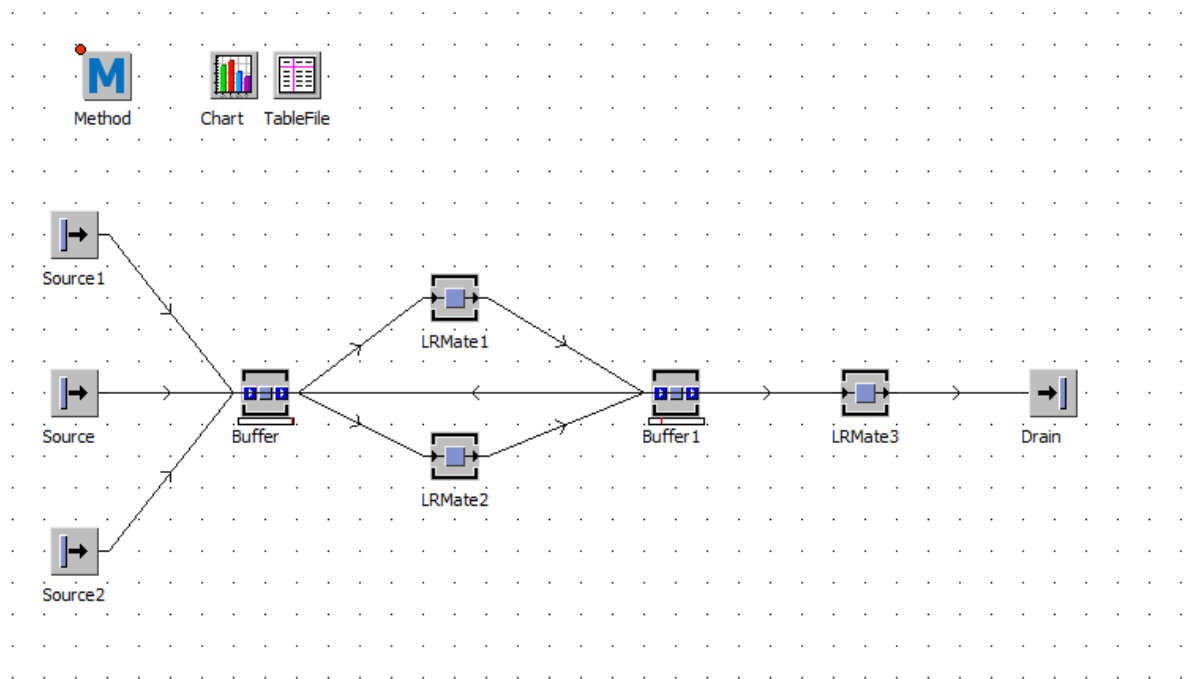


Рис. 4.11 Графічне 2-D представлення ділянки складання газового датчика

На об'єкті Заготівельний(Drain) встановлюємо кількість деталей обробки, у рядку Time of creation, вибираємо замість Interval Adjustable, Number Adjustable у рядку Amount ставимо 100, рисунок 4.12.

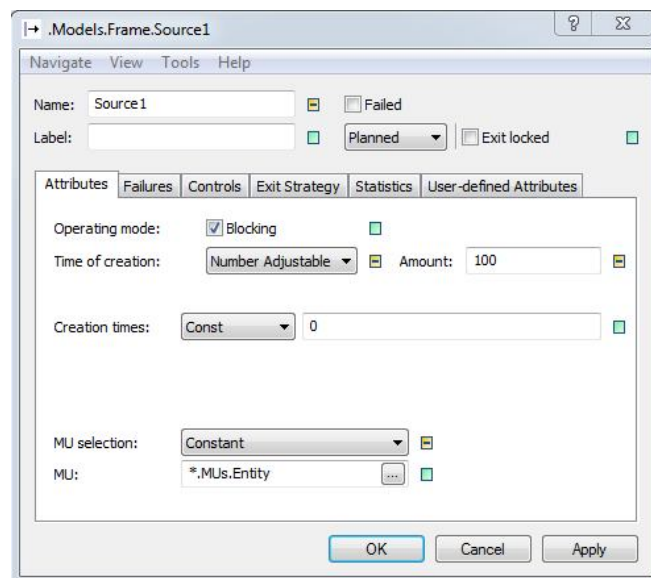


рис 4.12.Встановлення кількості деталей

за годину, а також відомості про кількість готових виробів за проведений експеримент.

Після проведення модельного експерименту зі складання 100 датчиків, отримано наступні результати: коефіцієнт завантаження обладнання, на Першому роботі маніпуляторі досягає 75%, на другому 70%, свердлильному 32%, що позначено на діаграмі зеленим кольором.

Першому роботі маніпуляторі досягає 20%, на другому 25%, свердлильному 65%. Це позначено сірим кольором на діаграмі. Простій відбувається тільки на третьому робі маніпуляторі, через те що там виконується лише одна операція зі складання.

Кількість оброблених корпусів за годину складає 4 шт., кількість виготовленої продукції 107, бо 7 деталей це брак. рисунок 4.15

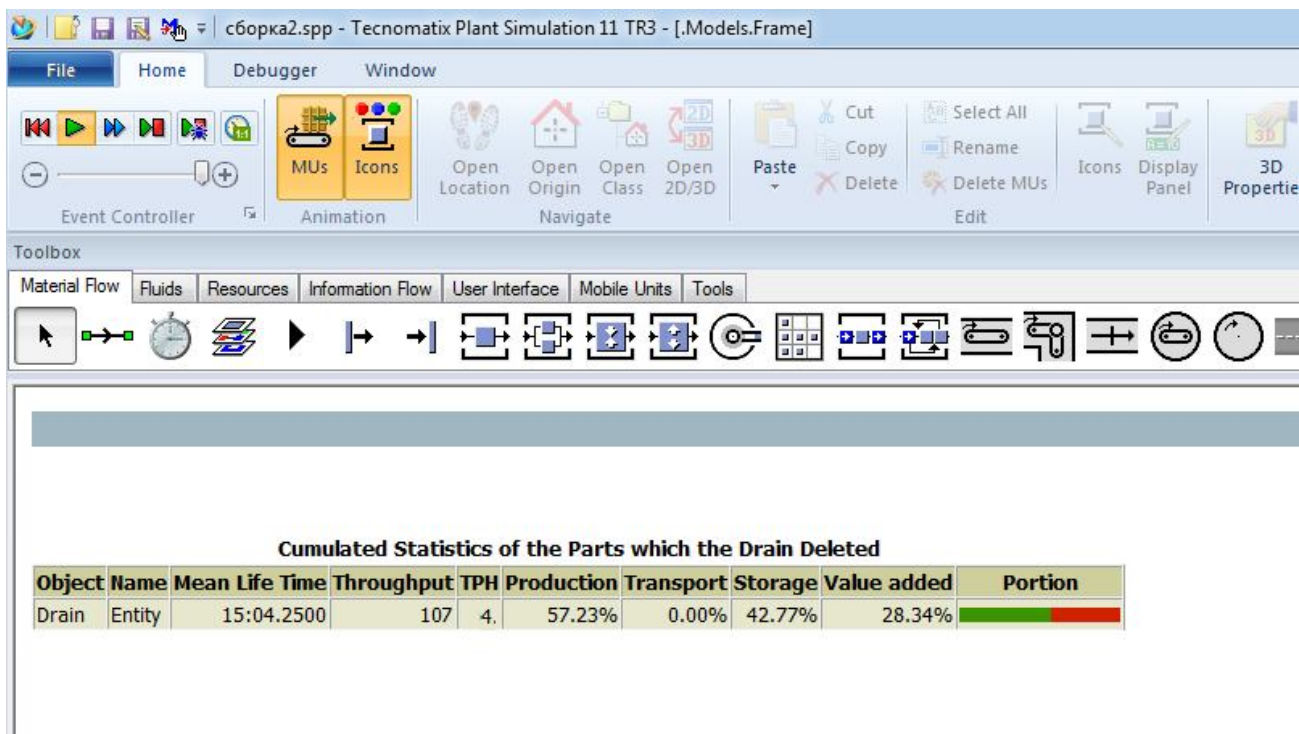


Рис.4.15 Результати дослідження

Для усунення визначених недоліків в роботі автоматизованої лінії складання газового датчика пропонується виконати зміни в роботі обладнання,

враховуючи час складання кожного з вузлів. Це дозволить усунути або звести до мінімуму можливість утворення черги при заданих початкових вхідних параметрах шляхом необхідного корегування технологічного процесу.

4.3. Методичні рекомендації зі створення імітаційної моделі виробничої системи та проведення відповідного комп'ютерного експерименту

На сьогодні основне призначення імітаційного моделювання на підприємствах пов'язане з перебудовою та оптимізацією існуючих виробничих процесів або створення нових ВС. Для використання систем імітаційного моделювання необхідне своєчасне оновлення інформації, для того щоб досліджуваний об'єкт був актуальним. Але збір та оновлення інформації про ВС є зазвичай трудомістким процесом.

Щоб використовувати імітаційне моделювання як засіб аналізу поточної ситуації на підприємстві в будь-який час, пропонується методика підтримки виробничої системи на основі даних, отриманих в результаті магістерської роботи. Ця методика складається з таких пунктів:

- аналіз виробничої системи (об'єкту моделювання);
- аналіз процесу виготовлення продукту (обладнання та інструмент, а також можлива заміна обладнання, операцій тощо.);
- розробка алгоритму ВС, що моделюється;
- вибір блоків імітаційної моделі на панелі інструментів системи Plant Simulation;
- задання вхідних параметрів створюваної моделі;
- побудова моделі реальної системи з використанням алгоритму моделювання ВС;
- збирання необхідної інформації про всі процеси, що відбуваються в модульованій системі;

- зміна моделі, щоб оптимально відповідати меті процесу шляхом зміни параметрів;
- проведення комп'ютерного експерименту з усіма параметрами, що будуть впливати на результати моделювання;
- аналіз отриманих результатів моделювання ВС;
- оптимізація створеної імітаційної моделі для підвищення ефективності технологічного процесу;

Висновки до розділу

У даному розділі було представлено дві імітаційні моделі. Модель ділянки цеху при механічному обробленні деталі «ротор» та модель складання газового датчика.

Перша імітаційна модель технологічного процесу механічної обробки деталі «ротор» складається, з 10 операцій, які були виконані на 5 видах обладнання. Це дозволило оптимізувати завантаження обладнання виробничої ділянки, визначити склад використовуваного обладнання та виявити «вузькі» місця технологічного процесу;

Друга імітаційна модель технологічний процес складання газового датчика дозволила отримати результати виконання технологічних операцій, завантаження обладнання кожного робочого місця, наявність черги при виконанні операцій та ефективність процесу виготовлення датчиків.

Результати виконання моделювання складання 100 газових датчиків показали нераціональне використання робочих ресурсів обладнання, що може призвести до зайвих фінансових та часових витрат;

РОЗДІЛ 5.

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ»

5.1. Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах використання імітаційного моделювання у виробництві, було створено виробничу систему імітаційного моделювання виробу в системі Plant Simulation. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап-проекту, який визначить змоги даного продукту вийти на ринок і конкурувати з продуктами, що вже зайняли на ньому своє місце.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення імітаційної моделі виробничої системи для проектування технологічних процесів	1. Застосування в різних галузях (управління, проектування, планування, налаштування, прогнозування тощо)	Маючи високу гнучкість, дозволяє використовувати систему до різних умов виробництв, а також дозволяє користуватися системою не маючи відповідних знань.
	2. Проектування технологічних процесів	Підвищення ефективності технологічного проектування та якості отриманих даних

Отже, пропонується нові напрямки проектування технологічних процесів, зменшення часу простою обладнання, що реалізовано шляхом комп'ютерної імітації виробничої системи, яка буде показувати вразливі місця технологічного процесу та дозволить покращити і підвищити ефективність налаштування виробничого процесу.

Далі проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо

значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проаналізуємо пропонований проект для власної ідеї щодо сильних, слабких та нейтральних характеристик порівняно з конкурентами (табл. 5.2) [87]. Такими конкурентами визначено:

Конкурент 1– Математична модель складних систем в Anylogic;

Конкурент 2– Математична модель складних систем в GPSS World;

Конкурент 3– Математична модель виробничих систем в Automod.

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конку рент1	Конкуре нт2	Конку- рент3			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Створення бібліотек	+	+	-	-		+	
2.	Необмежені потки випадкових чисел	+	+	+	-			+
3.	Розробка власного інтерфейсу	+	+	-	-	+		
4.	Імпорт креслення	+	+	-	+		+	
5.	Використання спеціалізованих мов програмування	+	-	-	-			+

Після проведення порівняння характеристик проекту з конкурентами був отриманий перелік сильних, слабких та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару, що показує його конкурентну здатність на ринку

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначено технологічну здійсненність ідеї проекту, яка передбачає аналіз таких складових (таблиця 5.3)[90].

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Проектування технологічних процесів ВС (виробничих систем)	Традиційні мови програмування	Наявні, але потребують значних знань в програмуванні (SimTalk)	Доступні
2	Проектування технологічних процесів ВС	Спеціальний програмний інструментарій (бібліотеки та надбудови вже існуючих систем)	Потребують незначних доопрацювань	В повному об'ємі недоступні, лише демо-версії
3	Проектування технологічних процесів ВС	Готові виробничі системи	Наявні, потребують незначних доопрацювань	Доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що даний проект може бути реалізований, тому що всі необхідні технології реалізації даних ідей наявні, але обмежена можливість їх реалізування через недосконале знання мови програмування SimTalk . Необхідно залучати спеціалістів з програмування для реалізації даного проекту.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначаємо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкових потреб, потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка ринку (таблиця 5.4) [90].

Таблиця 5.4.Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	300 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Швидкість оброблюваної інформації, представлення результатів проектування
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не змінна
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50%

За результатами оцінювання ринок має гарний попит та динаміку, на запропонований продукт, тому можливо зробити висновок, що продукт може ввійти у ринок, хоча на ринку вже є вітчизняні та іноземні конкуренти, але за допомогою легкості освоєння та нової системи моделювання можлива конкурентоспроможність.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5) [90].

Таблиця 5.5.Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	2	3	4	5
1	Система моделювання виробничих систем	Підприємства з виготовленням технологічної продукції	- наповненість бази системи - ціна продукту	до продукції:- можливість доповнення та редагування; - заміна бібліотеки на свою; - оновлення бібліотек

Продовження таблиці 5.5

1	2	3	4	5
2	Зменшення часу виробництва	Підприємства з виготовленням технологічної продукції	- швидкість та ефективність обробки інформації	до продукції: - простота використання;- можливість редагування; - швидке налаштування програмного забезпечення.
3	Результати проектування	Підприємства з виготовленням технологічної продукції	- використання людиною, яка не володіє відповідними знаннями; - наявність інтерфейсу;	до продукції: - простота; - доступний інтерфейс; до компанії постачальника: - швидке налаштування.

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати заводи, фірми, що хочуть зменшити вартість виробництва через прості обладнання.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 5.6) [90].

Таблиця 5.6. Фактори загроз.

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збут	Покупець обирає постачальників за якістю роботи системи	Необхідно пропонувати дану систему невеликим фірмам, які тільки відкрилися
2	Корисність	Може не відповідати вимогам певних підприємств	Пропонувати системи на підприємства, які використовують застарілі системи
3	Конкуренція	Наявність аналогічних систем	Безкоштовна 14-ти днівна версія для зацікавлення покупців
4	Обладнання	Застаріле програмне забезпечення	Застосування нового наявного інформаційного та програмного забезпечення

В таблиці 5.6 було приведено визначення факторів можливостей загроз які перешкоджають вийти на ринок даному проекту, а також реакцію на ці фактори, щоб мінімізувати їх вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7) [90].

Таблиця 5.7.Фактори можливостей.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	2	3	4
1	Наукова новизна	Оновити систему можливо буде у будь-який момент	Проводити оновлення та налаштування системи
2	Корисність	Може бути важливим доповненням для проектування на певних підприємствах	Пропонування системи для додаткових вимірювань, якщо фірма не хоче змінювати систему
3	Метод проектування	Оптимальний метод проектування ВС	Спробувати використовувати інші методи проектування ВС для порівняння результатів
4	Удосконалення продукту	Потреба вчасне вдосконалення продукту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
5	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В (таблиці 5.8)[90]. було приведено визначення факторів можливостей які будуть сприяти нашому продукту для виходу його на ринок збуту, а також реакцію на них.

Таблиця 5.8.Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції - олігополія	Характеризується невеликою кількістю фірм (до 10), що надають вийти на ринок меншим фірмам, а також контролюють цінову політику але при змові з іншими олігополістами. Головною рисою олігополії є те, що кількість фірм дуже незначана відносно ринку,	Пропонувати дану систему, заводам та фірмам,що хочуть оновити своє програмне забезпечення, проводити безкоштовне оновлення та налаштування систем

Продовження таблиці 5.8

1	2	3
2. За рівнем конкурентної боротьби- локальний	Характеризується місцем використання системи	Пропонувати наповнення баз даних різноманітними бібліотеками
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Характеризується однією галуззю використання	Пропонувати наповнення баз даних різноманітними бібліотеками
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Характеризується товарами одного виду	Пропонувати наповнення баз даних різноманітними бібліотеками
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Проводиться головним чином за допомогою вдосконалення якості продукції, технології виробництва, інновацій та нанотехнологій, патентування і брендування і умов її продажу, «сервізації» збуту.	Використовувати декілька систем моделювання для порівняння результатів
6. За інтенсивністю - не марочна	Торгова марка дуже не значна, але може бути присутньою на ринку	Створити бренд, який буде легко впадати у пам'ять

В даній таблиці можливо побачити аналіз ринка збуту для нашого продукту, а також маємо змогу визначити загальні риси конкуренції на ньому.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі(таблиця 5.9)[90].

Таблиця 5.9.Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	- Anylogic -Automod -GPSS World	- Promodel -Arena	-Європа -СНГ	Машинобудівні та приладобудівні підприємства	Системи побудовані за допомогою інших методів
Висновки:	Конкурентна інтенсивність з боку прямих конкурентів – є значною	- Маємо можливість виходу на ринок - є потенційні конкуренти Строки виходу	Постачальники встановлюють вимога роботи на ринку: - відповідне о	Клієнти встановлюють вимога роботи на ринку: - Відповідне	Лімітування з метою діяльності в торзі за допомогою продуктів

Таким чином, відповідно до наведеного вище аналізу основними факторами, що діють у конкурентній боротьбі в сфері, вважаються постачальники і покупці. Крім того без винятку найбільшого значення набуває насиченість конкурентної боротьби серед суперниками. Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції – олігополістична конкуренція.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 5.10.Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Оболонка	Є в наявності
2	Інтерпретатор	Здійснює перетворення інформації
3	Метод представлення ВС	Вибрано метод проекцій
5	Рівень мови створення ВС	Використано Plant Simulation
7	Можливість редагування;	В головному коді програми
8	Оновлення бібліотек	В головному коді програми, за нестачею інформації
9	Простота використання	Можна використовувати не будучи спеціалістом в даній

В таблиці 5.10[90]. на основі аналізу проведеного в таблиці 5.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «моделі ВС».

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з моделлю ВС						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Оболонка	2						+	
3	Метод представлення	1					+		
4	Підхід побудови алгоритмів в бібліотеках	0				+			
5	Рівень мови придбання знань	2						+	
6	Тип набутих знань	0				+			
7	Можливість доповнення та редагування;	1					+		
8	Оновлення бібліотек	0				+			
9	Простота використання	2					+		

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін показав, що довговічність, надійність і час роботи, за тієї ж ціною що, дає перевагу над іншими конкурентними продуктами і тому проект може стати конкурентоспроможним на ринку та зайняти свою нішу на ньому.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту.

Сильні сторони: - використання спеціалізованих мов програмування; - імпорт креслення.	Слабкі сторони: - розробка власного інтерфейсу; - нестача кількості навчених посібників
Можливості: - попит; - корисність; - отримання замовлень від нових клієнтів; - збільшення продажів;	Загрози: - збут; - конкуренція; - поява якісніших технологій у конкурентів; - втрата клієнтів через недостатню технічну підтримку;

В таблиці 5.12[87]. показано переваги та недоліки проекту. А також загроз та можливостей на ринку, який був складаний на основі факторів переваг та недоліків які ми складали раніше. Ринкові переваги та недоліки на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність

здійснення, тому SWOT-аналіз допоміг зрозуміти, які чинники заважають розвитку компанії, зменшують її дохід та становлять загрозу в майбутньому. А побачивши можливості, які є на ринку, організація сфокусувала свої сили та переваги для розширення власної ніші.

На основі SWOT-аналізу буде розроблено альтернативи поведінки ринкових відносин для виведення стартап-проекту на ринок та буде приведений орієнтовний час виведення стартап-проекту на ринок, з аналізом конкурентів, які вже є на ринку. Також він підкреслює клієнтам перевагу співпраці, що ґрунтується на досвіді та знаннях персоналу компанії імітаційному моделюванні виробничих систем.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

№ п/п	Альтернатива комплекс заходів) (орієнтовний поведінки ринкової	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз перевагами стартапу	75%	1 рік
2	Стратегія заміни недоліків стартапу наявними ринковими можливостями	55%	1 рік

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження (таблиця 5.13) [90] і з даних альтернатив буде обирати ту яка має більшу ймовірність отриманих ресурсів та в якій менший строк реалізації. Так як строки реалізації однакові, то буде вибрана стратегія нейтралізації ринкових загроз перевагами стартапу, бо вона має більшу ймовірність.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Машинобудівні та приладобудівні підприємства	75%	85%	80%	13%
Які цільові групи обрано: Стратегія концентрованого маркетингу					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (таблиця 5.14) [90] ми обрали цільові групи, для яких буде запропонована програма, для оптимізації. Було визначено стратегію: стратегія концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (таблиця 5.15) [90].

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку.

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Стратегія спеціалізації	Стратегія спеціалізації	Передбачає охоплення деякої ніші одного сегменту, а не охоплення цілого ринку. Метою буде надання послуг більш якісного рівня ніж у конкурентів на ринку	Стратегія спеціалізації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію спеціалізації, що передбачає концентрацію на потребах деякої цільової аудиторії, ніж охоплення усього ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16) [87].

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Пошук нової цільової аудиторії.	Так - методологію - схожість систем - розробка алгоритмів виробничих систем	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія намагається зайняти деякий сегмент ринку, а не намагатися захопити його. Головною метою компанії при цьому буде – постійна підтримка своєї конкурентоспроможності, формування прихильності споживачів, оновлення баз даних.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка буде відображати ринкову позицію, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (таблиця 5.17) [90].

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування.

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	База даних	Стратегія спеціалізації	- Наукова новизна - Метод отримання нових даних	- Позиціонування за співвідношенням "ціна – якість" - Позиціонування за сферою використання - Стратегія позиціонування за однією ознакою
2	Ефективність та швидкість оновлення	Стратегія спеціалізації	Корисність - Своєчасне оновлення	
3	Представлення результатів проектування	Стратегія спеціалізації	- Вид представлення	

Компанія за стратегію розвитку обрала свою спеціалізацію, і цільовою групою було обрано машино- та приладобудівні підприємства та заводи, хоча у цих підприємств вже є постачальники, але за рахунок нових технологій можливо буде переманити деяких клієнтів від конкурентів та реалізовувати цим свою конкурентну перевагу.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 [90] підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	2	3	4
1	Оболонка	Є в наявності	Можливе покращення оболонки
2	Інтерпретатор бібліотек	Здійснює швидке та якісне перетворення інформації	+
3	Метод представлення знань	Метод продукцій	Можливе замінення методу в разі необхідності
4	Підхід пошуку інформації в необхідних бібліотеках	Прямий підхід до вибору інформації	+
5	Рівень мови придбання знань	Використання Plant Simulation	Можливе оновлення до більш сучасної версії
6	Тип набутих знань	Символьний	Необхідно додати, табличний та зчитування рисунків
7	Можливість доповнення та редагування;	В головному кодї програми	Створити власний редактор бібліотек
8	Оновлення бібліотек	В головному кодї програми, за нестачею інформації	Поповнення новими матеріалами
9	Простота використання	Можна використовувати не будучи спеціалістом в предметній облас	+

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові	
I. Товар за задумом	Створення технологічного процесу	
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	Size
	1. Комп'ютерна програма 2. Оригінальний код програми 3. Довговічність (не має) 4. Надійність (Якість продукції досягається завдяки правильно підібраній технології розроблення і виробництва) 5. Оптові знижки (Знижки постійним клієнтам)	3 mb
	Якість: довідники, нормативи.	
	Пакування: Диск, онлайн сервіси.	
	Марка: Plant Simulation	
III. Товар із підкріпленням	До продажу: доставка, налаштування.	
	Після продажу: обслуговування	

В таблиці 5.19 [90] створено три - рівневу модель нашого товару, що включає задум товару, основні характеристики готового товару, спосіб його поширення та захист від плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.20) [90].

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни.

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	700 грн	10000грн	5000грн	1500-3000 грн

В даній таблиці розглянуто ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхній та нижній рівень цінової політики (таблиця 5.21) [90] .

Таблиця 5.21. Формування системи збуту.

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звична купівля з деякими модифікаціями. Вона передбачає придбання дещо змінених товарів (послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка товару покупцю, його налаштування та встановлення.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : - Торгівля через магазини - Посилкова торгівля - Онлайн сервіси

Спираючись на специфіку ринкових відносин для цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту через торгівлю в магазинах, посилками чи в онлайні. Також заглибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати безпосередній контакт з покупцями (таблиця 5.22) [90].

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Бути на зв'язку	- електронна пошта - моб. телефон	Проектування технологічних процесів	Зацікавити у виборі проекту	«Вибір лише за вами»

Висока якість продукту є головною перевагою продукту, за рахунок якого він буде конкурентоспроможним на ринку.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту.

Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів.

Висновки до розділу

Ринкова комерціалізація проекту опирається на попит у даній сфері, динаміку самого ринку, а також прибутковість роботи на ринку. Клієнти на ринку зазвичай купують звичайний товар з деякими модифікаціями, а саме зменшення ціни на сам товар або придбання уже змінених товарів, саме на таких клієнтів і розрахований даний стартап-проект, так як за рахунок створеної виробничої системи відбудеться, покращення технологічного процесу виготовлення виробів на підприємстві та показання проблемних місць на ранньому етапі розробки, зменшення часу виробництва, вона матиме переваги при роботі порівняно із товарами конкурентів.

Результатом дослідження є розробка способу, який у порівнянні з аналогами дає можливість зробити комплексне отримання результату, а саме зменшення часу простою обладнання, показати проблемні місця на початкових, що дозволить покращити і підвищити ефективність налаштування виробничого процесу.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Проблематикою входження на ринок є кількість товарів-аналогів, які вже мають свою нішу на ринку, але порівняно із нашим проектом дана виробнича система оптимізує роботу, зменшує час виробництва, має

достатню базу даних і можливість швидкого оновлення системи за рахунок чого вона може стати конкурентоспроможним на ринку.

Впровадження на ринок розроблена на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, компанія буде впроваджувати товар у деякому сегменті, а не на всьому ринку.

Отже, подальше впровадження нашого продукту на ринок є вигідною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

В магістерській дисертації було розглянуто стан моделювання виробничих систем в приладобудуванні, що представлено у різних джерелах. Аналіз математичного моделювання складних систем показав, що на сьогоднішній день доступна велика кількість програм, що можливо використовувати у різноманітних галузях. Перевагою даних систем моделювання є їх гнучкість та можливість охоплювати одразу декілька галузей. Серед систем, які доцільно використовувати як засіб математичного моделювання в приладобудуванні, треба відзначити ARIS, AnyLogic, Arena, Plant Simulation, та GPSS World.

Після проведення дослідження найбільш придатною виявилась технологія імітаційного моделювання, бо вона дозволяє створювати подібні за властивостями і структурі моделі виробничих процесів, зміна вхідних параметрів і умов в моделях, не потребує великих часових та фінансових затрат.

Аналіз сучасних засобів імітаційного моделювання показав, що найбільш придатною для найбільш доцільною системою являється Plant Simulation. Вона рекомендується для використання у приладо- та машинобудуванні.

У магістерській дисертації було створено імітаційні моделі ділянки механічного цеху обробки деталі типу «ротор» та модель складання газового датчика. Система дозволила виконати комп'ютерне моделювання процесу з різними параметрами отриманої моделі з метою оптимізації завантаження обладнання виробничої ділянки механічного цеху та ділянки складання, визначення раціонального складу використовуваного обладнання при різних розмірах партій виготовлення деталей та виявлення «вузьких» місць технологічного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стерлигова, А. Н. Операционный (производственный) менеджмент // А. Н. Стерлигова, А. В. Фель. – М. : Инфра-М, 2015. – 187 С.
2. Михеева Т.В. Обзор Существующих производственных систем // Известия Алтайского государственного университета. – 2009. – С.83-87
3. Градов А.П. Стратегия экономического управления предприятием: производственная система как объект стратегического управления: учеб. пособие. СПб. : СГОГУ, 2001. – 356 с
4. Горелов Д.О. Організація виробництва: Конспект лекцій. – Харків.: ХНАДУ, 2012. – 544 с.
5. Фролевич Е.Н. Автоматические роторные линии. От создания – к современному этапу промышленного производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки — 2012. № 14. – С.83-87.
6. Васильев С.В. Производственный менеджмент: учебно-методическое пособие / С.В. Васильев. – Великий Новгород, 2003. – 99 с.
7. Гнучкі комп'ютеризовані системи: проектування, моделювання і управління: Підручник / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, Б.Б. Самотокін, М.М. Поліщук, М.М. Ткач, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко.– Житомир: ЖДТУ, 2005.– 680 с.
8. Промышленная робототехника / Л.С. Ямпольский, В.А. Яхимович, Е.Г. Вайсман и др.: Под ред. Л.С. Ямпольского.– К. : Техніка, 1984.–264с.
9. Ямпольський Л.С., Поліщук М.М., Ткач М.М. Елементи робототехнічних систем а модулі ГВС. – К.: Вища шк., 1992. – 431с.
10. Сергеев А.С. Методология автоматизация ранних этапов проектирования производственных систем в машиностроении. Диссертация на соискания ученой степени доктора технических наук: 05.13.12. — Оренбург, 2016. — 14-28 с.

11. А. Р. Ротт, С. Я. Алибеков, А. В. Маряшев, А. В. Медведев, Р. С. Сальманов. Особенности моделирования и оценка эффективности производственно-технологических систем на ранних стадиях проектирования // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. С.308-314
12. Кононова В.Ю. Модернизация производственных систем на российских промышленных предприятиях: современное состояние и перспективы // Российский журнал менеджмента. Том 4, № 4, 2006. С. 119 –132.
13. Циганчук Р. О. Моделювання процесу виробництва. Економічні характеристики процесу виробництва та їх взаємозв'язок / Р. О. Циганчук // Вісник Університету банківської справи Національного банку України. - 2013. - № 1. - С. 302-306.
14. Промышленная робототехника / Л.С. Ямпольский, В.А. Яхимович, Е.Г. Вайсман и др.: Под ред. Л.С. Ямпольского.– К. : Техніка, 1984.–264с.
15. Романова Ю.С. Технологии приборостроения. – Технология приборостроения. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013 г. – 234 с.
16. Михеева Т.В Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами // Известия Алтайского государственного университета —2009. № 3. С. 87-90.
17. Федотова В.С Технологии имитационного моделирования в системе -AnyLogic // Царскосельские чтения —2013. XVII том I. С. 146-151.
18. AnyLogic. Моделирование для обоснованных решений [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.anylogic.ru>.
19. Моделирование рынка коммуникаций [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.anylogic.ru/anylogic-models-telecom-market-in-argentina/>.

20. И. М. Якимов, А. П. Кирпичников, В. В. Мокшин, Г. В. Костюхина, Т. А. Шигаева Комплексный подход к моделированию сложных систем в системе ARENA // Вестник Казанского технологического университета. —2009. № 13. С. 287-292
21. Arena – система имитационного моделирования [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.interface.ru/sysmod/arena.htm>.
22. Штерензон В.А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В.А. Штерензон. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. 66 с.
23. Шеер А.В. Моделирование бизнес-процессов. – М.: Весть-МетаТехнология, 2000.
24. Шеер А.В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. – М.: Весть-МетаТехнология, 1999.
25. Замятина О.М. Моделирование систем: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 204 с.
26. ARIS [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.kpms.ru/Automatization/ARIS.htm>.
27. Общая характеристика системы GPSS Word [Электронный ресурс]. – 2015 – Режим доступа до ресурсу: <http://its.kpi.ua/ts/SiteAssets/SitePages/%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%87%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%20World.ppt>.
28. Степанова А.С. Имитационная модель многопроцессорной системы в средстве GPSS World // Бизнес-информатика. —2010. № 3. С. 287-292.
29. Фастовский Э.Г. Основы работы с CASE-средством AllFusion Process Modeler [Электронный ресурс] / Э.Г. Фастовский – Режим доступа до ресурсу: <http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/technpgm/labs/lab01.html>.

30. Simprocess. Don't just see the future. Change it! [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://simprocess.com/>.

31. М.И. Чижов, Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев. Моделирование технологических процессов в Plant Simulation // Вестник Воронежского государственного технического университета 2011. № 10. с. 36-38

32. Височина О.С., Даніч В.М., Пархоменко В. П. Моделювання виробничих процесів на промисловому підприємстві за допомогою систем імітаційного моделювання ARENA //Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2012. № 1. с. 82-85

33. Редько С.Г, Селезнева Е.В. Применение системы имитационного моделирования ARENA для исследования производственных линий // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2013. № 4-2. с. 82-85

34. Михайлова С.Е. Имитационное решение задачи моделирования работы цеха сборки изделий в среде GPSS WORLD . 2013.- 124-127 с.

35. Кулешов М.В, Сыромятников В.С. Компьютерная модель конвейера для проектирования привода//Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6-1. с. 97-101

36. Степанов А.Г, Семин С.Г Имитационная модель технической производственной линий//Информационно-управляющие системы. 2015. № 1(74). с. 92-99

37. Радаев А.Е Имитационного моделирование динамики оборотных запасов в цепи постановок промышленных предприятий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2011. № 2(119). с. 255-260

38. И. М. Якимов, А. П. Кирпичников, З. Х. Захарова, Д. Д. Железнякова имитационное моделирование в системе Plan Simulation // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. № 6 С.308-314.

39. Проничев Н.Д. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха / Н.Д. Проничев, В.Г. Смелов, В.В. Кокарева, А.Н. Малыхин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 15, №6(4), 2013. – С. 937–943.
40. Толуев. Ю.И. Имитационная модель производственной линии на базе сложной конвейерной системы / Ю.И. Толуев, Т.П. Змановская // Автоматизация в промышленности. – № 7. 2013. – С. 37– 41.
41. Ребрин Ю.И. Основы экономики и управления производством. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 145 с.
42. М.И. Чижов, Ю.С. Скрипченко, П.Ю. Гусев. Моделирование технологических процессов в Plant Simulation // Вестник Воронежского государственного технического университета 2011. № 11. с. 255-260.
43. Гульяев, А. В. Визуальное моделирование в среде MATLAB : учебный курс / А. В. Гульяев. – СПб. : Питер, 2000. – 432 с.
44. Дьяконов, В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 + Simulink 5/6. Основы применения / В. П. Дьяконов. - М.: Солон-Пресс, 2005. - 800 с.
45. Пригарин С. М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей / С. М. Пригарин. – Новосибирск : Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2005. – 259 с.
46. Тихонов, А. Н. Вводные лекции по прикладной математике : учебное пособие / А. Н. Тихонов, Д. П. Костомаров. – М. : Наука, 1984. – 190 с.
47. Економічна енциклопедія: У трьох томах. Т. 1. / Редкол.: ...С. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. – К.: Видавничий центр “Академія”, 2000. – 864 с.
48. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. – СПб.: СПбГПУ, 2004. – 239 с.
49. Федоров В. Н. Математические модели технологического развития производственных систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 6 С. 261-269.

50. Перегудов Ф.П., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. — Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 1989. — 367 с.: ил.
51. Зубков Д.А, Клименко В.В, Хвастунов А.П Математическая модель производственно технических систем и программная реализация в задачах прогнозирования состояний // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 2008. С. 79-84.
52. Пономаренко В. С. Цілочисельне програмування в економіці [Текст] / Пономаренко В. С., Голубничий Д Ю., Третяк В. Ф.. — Х. : Вид. ХНЕУ, 2005. — 204 с.
53. Лоу, А. Імітаційне моделювання / А. Лоу, В. Кельтон. - СПб. : Пітер, 2004. – 190 с
54. Gordon G. A general purpose systems simulation program // Proceedings of the December 12-14, 1961, eastern joint computer conference: computers - key to total systems control. 1961. P. 87-104.
55. Schriber T. The Nature and Role of Simulation in the Design of Manufacturing System // Simulation in Computer Integrated Manufacturing. – The Society for Computer Simulation, 1987. P. 5-18.
56. Schulze T., Lorenz P., Hinz V. Simulation und Visualisierung 2000. SCS, Ghent, 2000.
57. Карпухин И.Н. Исследование и реализация систем дискретно-событийного имитационного моделирования на основе графовых моделей: дис. канд. техн. наук: 05.13.11 / Карпухин Илья Николаевич. — М., 2013. — 321 с. 26.
58. Подкрытов Д.И. Разработка отказоустойчивых мульти-агентных средств имитационного моделирования систем с дискретными событиями: дис. канд. техн. наук: 05.13.11 / Подкрытов Дмитрий Игоревич. — Новосибирск, 2012. — 114 с.

59. Лиманская С.Е, Ермоленко Б.В. Некоторые подходы к системному проектированию гальванических производств. // Успехи в химии и химической технологии 2016. С. 54-57.
60. Теория массового обслуживания//Математический энциклопедический словарь, М., «Советская энциклопедия», 1988, стр. 327-328
61. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике. -М.: Мир, 1964.
62. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. - СПб.: Питер, 2002. - 320 с.
63. Матвеев С. Г., Балихин А. О. Моделирование работы производственной системы с использованием аналитической теории сетей массового обслуживания. // Инженерный вестник # 10. – 2014. С.1001-1015
64. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. -М.: Мир, 1984. -264 с.
65. Вислоух С.П., Філоненко К.Г. Імітаційне моделювання виробничих систем засобами Мережі Петрі // «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. – 2017.–№. XVII.– С.91
66. Філоненко К.Г., Вислоух С.П. Мережі Петрі як засіб моделювання виробничих систем // Збірник статей «Погляд у майбутнє приладобудування». – К.: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 251-255.
67. Вислоух С.П., Чабан О.М. Моделювання та оптимізація роботи виробничих систем засобами Мережі Петрі / С.П.Вислоух, О.М.Чабан / Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування.-2008.-Вип.36.с.118-122.
68. Юдицкий С.А. Технологія цільового моделювання бізнесів-систем // Прилади і системи. Керування, контроль, діагностика. -2000. -№ 10. -С. 76 - 82.
69. Nutt G.J. The formulation and application of evaluation nets, Ph.D. dissertation. University of Washington. 1972.

70. Илюшечкина Л.В., Костин А.Е. Модифицированные Е-сети для исследования систем распределённой обработки информации // Автоматика и вычислительная техника. 1988. №6. – С. 27-35.
71. Илюшечкина Л.В. Разработка средств моделирования для исследования систем распределённой обработки информации: дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / Илюшечкина Людмила Валентиновна. – М., 2002. – 240 с.
72. Gardey G., Lime D., Magnin M. Roméo - A tool for Time Petri Nets analysis [Электронный ресурс]. URL: http://romeo.rts-software.org/?page_id=2 (дата обращения: 28.05.2014).
73. Cottenceau B. .Data processing tool for calculation in dioid // Proceedings of Petri Network, Workshop on Discrete Event Systems. , 2000.].
74. 6. Bonet P. и др. PIPE v2. 5: A Petri net tool for performance modelling // Proc. 23rd Latin American Conference on Informatics (CLEI 2007). , 2007.
75. Костин А.Е. Модели и алгоритмы организации распределенной обработки данных в информационных системах: докт. дис. М.: МИЭТ, 1989. – 221 с.
76. Левин В.И Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. – М.: Наука. 1987. – 304 с.
77. Сайт: Розрахунок Структурної надійності – 2016. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5607307/>.
78. Вислоух С.П. Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва: моногр. / С.П. Вислоух. – К.: НТУУ “КПІ”, 2011. – 488 с.
78. Почекуев Е.Н.. Системное проектирования последственных раздельных штампов вырубки листовых заготовок. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета -2012. -№ 2. -С. 161-165.

79. Svoboda P., Ševčík J. The Advanced Techniques of PSI Scenarios Development in Plant Simulation. In: Proceedings of the 16th International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation (ACMOS '14), Brasov, Romania, 2014. ISBN 978-960-474-383-4.

80. Карпов, Ю. Г., «Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5». — СПб: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с

81. Варжапетян А.Г. Назначение и структура GPSS [Электронный ресурс] / А.Г. Варжапетян. — 2004. — Режим доступа до ресурсу: http://www.uamconsult.com/book_379_chapter_14_3.1._Naznachenie_i_struktura_GPSS.html.

82. Steffen Bangsow. Manufacturing Simulation with Plant Simulation and SimTalk Usage and Programming with Examples and Solutions. — Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. — 291 с

83. Філоненко К.Г., Вислоух С.П. Імітаційне моделювання як засіб дослідження виробничих систем // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА МЕТРОЛОГІЯ: СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ, ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ», 11-12 жовтня 2018р. — Луцьк, 2018. — С. 72-73.

84. Siemens PLM [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/tecnomatix/>

85. Siemens PLM Software объявляет о выходе Tecnomatix 9: производительности на этапах подготовки производства и изготовления изделий — Режим доступа до ресурсу http://isicad.ru/ru/press_releases.php?press_num=13142

86. eM-Plant – eMPower для управления подготовкой производства [Электронный ресурс] — Режим доступа до ресурсу: https://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/Images/Modelirovanie%20i%20optimizacia_tcm802-70431.pdf

87. Гундрова У.С. Обзор программных пакетов имитационного моделирования: eM-Plant (Tecnomatix Technologies GmbH&Co, Германия). Автореф. дис. Кандидат тех. наук: 09.00.08 / Моск. гос. пед. ин-т. – М., 2009. – 35-40 с.

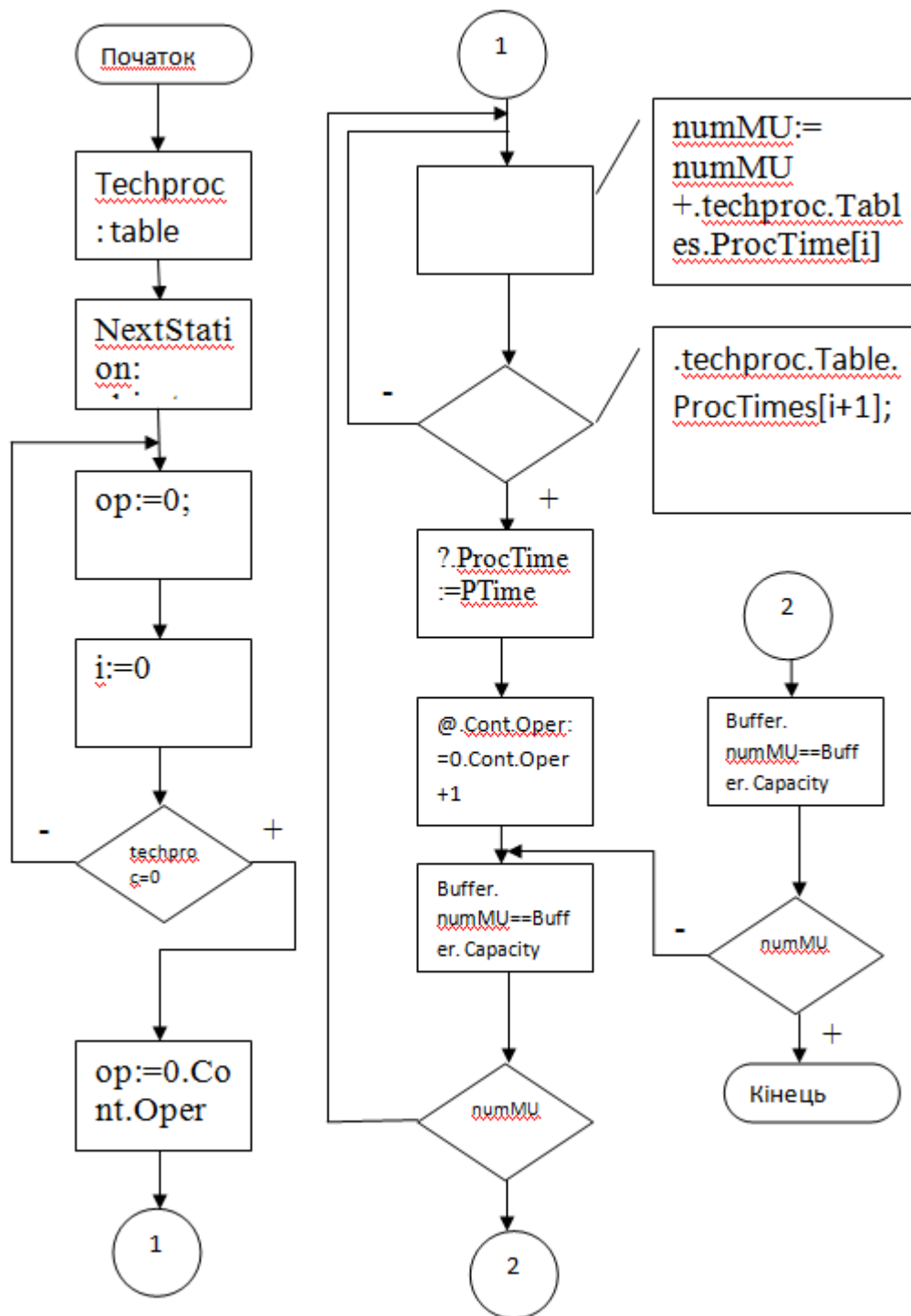
88. Абрамова И.Г. Имитационное моделирование организации производственных процессов машиностроительных предприятий в инструментальной среде Tecnomatix Plant Simulation: лабораторный практикум / И. Г. Абрамова, Н. Д. Проничев, Д. А. Абрамов, Т. Н. Коротенкова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2014. – 80с.

89. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

90. Філоненко К.Г., Вислоух С.П. Підвищення ефективності виробничих процесів засобами імітаційного моделювання // збірник праць Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», м. Київ, НТУУ «КПІ» К.: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 148-152

ДОДАТКИ

Додаток А – Алгоритм програми



Додаток Б – Текст програми

Is

Techproc : table;

op:integer;

i: integer;

numMU: integer

Do

op:=0;

i:=0;

if @.techproc=0 then

op:=0.Cont.Oper

repeat

numMU:= numMU +.techproc.Tables.ProcTime[i]

Until .techproc.[i+1];

?.ProcTime:=PTime

@.Cont.Oper:=0.Cont.Oper+1;

End;

is

do

if Buffer. numMU==Buffer. Capacity then

Buffer. entranseLocked:= numMU;

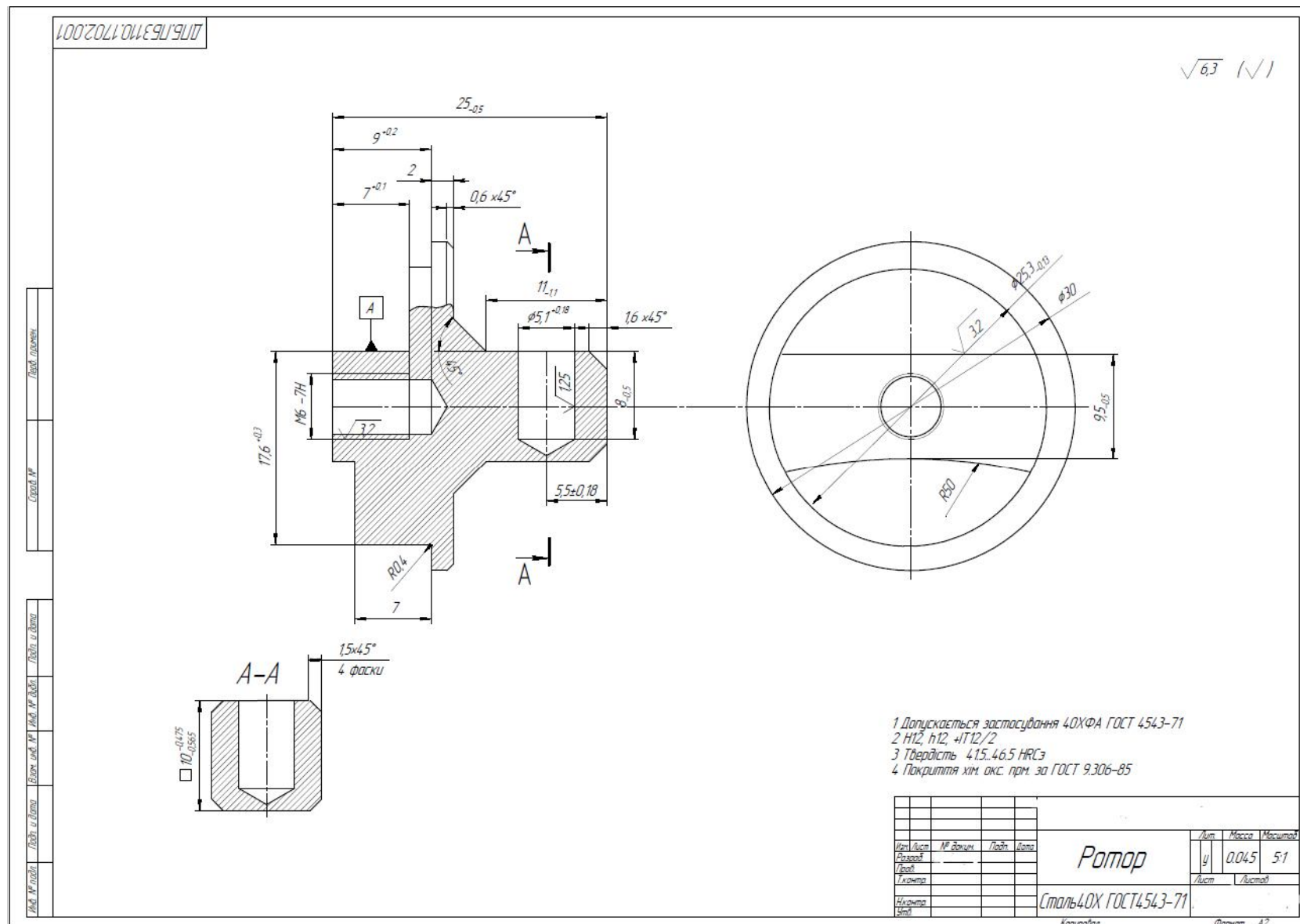
else Buffer. numMU==0 then

Buffer. entranseLocked:= false;

end;

end.

Додаток В – Креслення деталі «Ротор трещіточний»



Додаток В – Технологічний процес «Ротор трещіточний»

005 Заготівельна

010 Токарна з ЧПУ

16A20ФЗС15

015 Вертикально-фрезерна з ЧПК

6Т13Ф20

020 Токарна з ЧПУ

16A20ФЗС15

025 Вертикально-свердлильна з ЧПК

2Р13Ф2

030 Токарна з ЧПК

16A20ФЗС15

035 Вертикально-фрезерна з ЧПК

6Т13Ф20

040 Токарна з ЧПУ

16A20ФЗС15

045 Вертикально-свердлильна з ЧПК

2Р13Ф2

050 Контрольна

Стіл контрольний

Додаток Г – Специфікація «Газовий датчик»

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			ДП.ПБ3120.1702.001СК	Датчик СК	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
A4			ДП.ПБ3120.1702.002СК	Корпус СК	1	
A4			ДП.ПБ3120.1702.003СК	Кришка СК	1	
A4			ДП.ПБ3120.1702.004СК	Клапан СК	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	ДП.ПБ3120.1702.004.01	Корпус	1	
		2	ДП.ПБ3120.1702.004.02	Стійка	1	
		3	ДП.ПБ3120.1702.004.03	Мембрана	1	
		4	ДП.ПБ3120.1702.004.04	Гвинт	1	
		5	ДП.ПБ3120.1702.004.05	Втулка	1	
		6	ДП.ПБ3120.1702.004.06	Втулка	1	
		7	ДП.ПБ3120.1702.004.07	Гайка	1	
		8	ДП.ПБ3120.1702.004.08	Кільце	1	
		9	ДП.ПБ3120.1702.004.09	Сенсор	1	
		10	ДП.ПБ3120.1702.004.10	Кришка	1	
		11	ДП.ПБ3120.1702.004.11	Каркас		
		12	ДП.ПБ3120.1702.004.12	Втулка	1	
		13	ДП.ПБ3120.1702.004.13	Кришка	1	
		14	ДП.ПБ3120.1702.004.14	Вісь	1	
Ізм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	<div>Датчик</div> <div>Лит. Лист Листов</div> <div>1 2</div>	
Разраб.	Разработчик					
Пров.						
Н.контр.						
Утв.						

Додаток Г – Специфікація «Газовий датчик»

[illegible]

Генер. нумар.

Wendell Phillips

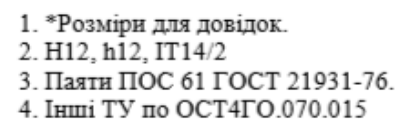
ಗೊರಗಿ ಎ ರೆಂಗಾಂ

1645. 1^o 2^o 3^o 4^o 5^o 6^o 7^o 8^o 9^o 10^o 11^o 12^o 13^o 14^o 15^o 16^o 17^o 18^o 19^o 20^o 21^o 22^o 23^o 24^o 25^o 26^o 27^o 28^o 29^o 30^o 31^o 32^o 33^o 34^o 35^o 36^o 37^o 38^o 39^o 40^o 41^o 42^o 43^o 44^o 45^o 46^o 47^o 48^o 49^o 50^o 51^o 52^o 53^o 54^o 55^o 56^o 57^o 58^o 59^o 60^o 61^o 62^o 63^o 64^o 65^o 66^o 67^o 68^o 69^o 70^o 71^o 72^o 73^o 74^o 75^o 76^o 77^o 78^o 79^o 80^o 81^o 82^o 83^o 84^o 85^o 86^o 87^o 88^o 89^o 90^o 91^o 92^o 93^o 94^o 95^o 96^o 97^o 98^o 99^o 100^o 101^o 102^o 103^o 104^o 105^o 106^o 107^o 108^o 109^o 110^o 111^o 112^o 113^o 114^o 115^o 116^o 117^o 118^o 119^o 120^o 121^o 122^o 123^o 124^o 125^o 126^o 127^o 128^o 129^o 130^o 131^o 132^o 133^o 134^o 135^o 136^o 137^o 138^o 139^o 140^o 141^o 142^o 143^o 144^o 145^o 146^o 147^o 148^o 149^o 150^o 151^o 152^o 153^o 154^o 155^o 156^o 157^o 158^o 159^o 160^o 161^o 162^o 163^o 164^o 165^o 166^o 167^o 168^o 169^o 170^o 171^o 172^o 173^o 174^o 175^o 176^o 177^o 178^o 179^o 180^o 181^o 182^o 183^o 184^o 185^o 186^o 187^o 188^o 189^o 190^o 191^o 192^o 193^o 194^o 195^o 196^o 197^o 198^o 199^o 200^o 201^o 202^o 203^o 204^o 205^o 206^o 207^o 208^o 209^o 210^o 211^o 212^o 213^o 214^o 215^o 216^o 217^o 218^o 219^o 220^o 221^o 222^o 223^o 224^o 225^o 226^o 227^o 228^o 229^o 230^o 231^o 232^o 233^o 234^o 235^o 236^o 237^o 238^o 239^o 240^o 241^o 242^o 243^o 244^o 245^o 246^o 247^o 248^o 249^o 250^o 251^o 252^o 253^o 254^o 255^o 256^o 257^o 258^o 259^o 260^o 261^o 262^o 263^o 264^o 265^o 266^o 267^o 268^o 269^o 270^o 271^o 272^o 273^o 274^o 275^o 276^o 277^o 278^o 279^o 280^o 281^o 282^o 283^o 284^o 285^o 286^o 287^o 288^o 289^o 290^o 291^o 292^o 293^o 294^o 295^o 296^o 297^o 298^o 299^o 300^o 301^o 302^o 303^o 304^o 305^o 306^o 307^o 308^o 309^o 310^o 311^o 312^o 313^o 314^o 315^o 316^o 317^o 318^o 319^o 320^o 321^o 322^o 323^o 324^o 325^o 326^o 327^o 328^o 329^o 330^o 331^o 332^o 333^o 334^o 335^o 336^o 337^o 338^o 339^o 340^o 341^o 342^o 343^o 344^o 345^o 346^o 347^o 348^o 349^o 350^o 351^o 352^o 353^o 354^o 355^o 356^o 357^o 358^o 359^o 360^o 361^o 362^o 363^o 364^o 365^o 366^o 367^o 368^o 369^o 370^o 371^o 372^o 373^o 374^o 375^o 376^o 377^o 378^o 379^o 380^o 381^o 382^o

830M. 6440

1. *Protein*

1405 1/4"

[illegible]

Κατασκευή

Формат А3

Додаток Г – Технологічний процес «Газового датчика»

005 Підготовча

010 Комплектувальна

015 Промивка

020 Сушка

025 Складання Стійки СК

030 Складання Корпусу СК

035 Складання Кришки СК

040 Складання Каркасу СК

045 Складання Втулки СК

050 Складання Датчика СК

055 Контрольна

060 Маркування

065 Упакування

070 Випробувальна

Список

наукових праць Філоненка Костянтина Геннадійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

№ з/п	Назва	Видавництво, журнал (назва, номер, рік) чи номер авторського свідоцтва	Кількість друкованих сторінок	Прізвища співавторів
1	2	3	4	5
1	Мережі Петрі як засіб моделювання виробничих систем	Збірник тез доповідей XI науково-практичної конференції студентів, аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», м. Київ, НТУУ «КПІ», 15-16 травня 2018 р.	4	Філоненко К.Г. Вислоух С.П.
2	Підвищення ефективності виробничих процесів засобами імітаційного моделювання	Збірник тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», м. Київ, НТУУ «КПІ», 4-5 грудня 2018 р.	4	Філоненко К.Г. Вислоух С.П.
3	Імітаційне моделювання як засіб дослідження виробничих систем	Збірник тез доповідей III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» 11-12 жовтня 2018 р.	2	Філоненко К.Г. Вислоух С.П.

1	2	3	4	5
4	Імітаційне моделювання виробничих систем за допомогою мереж Петрі	Збірник тез доповідей XVII міжнародної науково-практичної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво», м. Чернігів, 01-03 листопада 2017 р.	1	Філоненко К.Г. Вислоух С.П
5	MODELING OF MANUFACTURING PROCESSES USING A PETRI-NET	Збірник тез доповідей XI Міжнародна науково-технічна конференція “Приборостроения-2018”, м. Мінськ, 14–26 листопада 2017 р	3	Філоненко К.Г. Вислоух С.П
6	Моделювання виробничих систем засобами мереж Петрі	XX Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», м. Дніпро, НЦАО, 11-13 квітня 2018р.	1	Філоненко К.Г. Вислоух С.П

Автор

(підпис)

Філоненко К.Г.
(прізвище, ініціали)

Декан ПБФ

(підпис)

Тимчик Г.С.
(прізвище, ініціали)